



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



Vysokofrekvenční svařování pro výrobu bederních pásů

Bakalářská práce

Studijní program: B3107 – Textil
Studijní obor: 3107R015 – Výroba oděvů a management obchodu s oděvy
Autor práce: **Markéta Hönigová**
Vedoucí práce: Ing. Katarína Zelová, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



High frequency welding for lumbar belts production

Bachelor thesis

Study programme: B3107 – Textil
Study branch: 3107R015 – Clothing Production and Management of Clothing Trade
Author: **Markéta Hönigová**
Supervisor: Ing. Katarína Zelová, Ph.D.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Markéta Hönigová**

Osobní číslo: **T15000457**

Studijní program: **B3107 Textil**

Studijní obor: **Výroba oděvů a management obchodu s oděvy**

Název tématu: **Vysokofrekvenční svařování pro výrobu bederních pásů**

Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Charakterizujte nekonvenční způsoby spojování textilií. Popište využití těchto metod spojování v sortimentu zdravotnických výrobků firmy Lohmann & Rauscher s.r.o.
2. Popište princip vysokofrekvenčního svařování textilií a analyzujte současný stav a problémy vznikající při vysokofrekvenčním svařování bederního pásu. Popište problematická místa v technologii výroby bederního pásu.
3. Navrhněte a realizujte kroky pro odstranění problémů při vysokofrekvenčním svařování bederních pásů. Experimentálně otestujte kvalitu vysokofrekvenčního spoje bederního pásu.
4. Diskutujte dosažené výsledky a formulujte doporučení pro výrobce bederních pásů.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: cca 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- MOTEJL, V. Technologie II. Část 3., Oděvnictví. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1980.
- KUBÍK, J., GRUNDĚL, F., a kol. PVC: výroba, zpracování a použití. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958.
- Handbook, Part I. High frequency welding, [online], [cit. 15.12.2017].
Dostupné na:
<http://www.balacchihf.it/wp-content/uploads/2014/12/HIGH-FREQUENCY-WELDING-HANDBOOK-I-part.pdf>.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Katarína Zelová, Ph.D.

Katedra oděvnictví

Konzultant bakalářské práce: prof. Ing. Josef Steidl, CSc., FEng.

Datum zadání bakalářské práce: 16. listopadu 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 4. května 2018


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 16. listopadu 2017

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Anotace

Bakalářská práce se zabývá nekonvenčním spojováním termoplastů. V úvodu je popsána technologie svařování horkým klínem, horkým vzduchem, ultrazvukem a vysokofrekvenčně. Hlavní část je věnována vysokofrekvenčnímu svařování a úskalím, která mohou doprovázet proces svařování bederního pásu. Analyzujeme a odstraníme problematická místa, která mají za následek nekvalitní svar.

Klíčová slova vysokofrekvenční stroj, svařování, elektroda, termoplastický materiál, rovinnost ploch.

Annotation

This bachelor's thesis focuses on no-conventional binding of thermoplastic materials. In the introduction the technologies of hot wedge, hot air, ultrasound and high frequency welding are described. The main part deals with high-frequency welding and issues that may occur during the welding process of a hip belt. We analyze and reduce the problematic points that cause a bad quality joint.

Key words: High frequency machine, welding, electrode, thermoplastic material, flatness of surface.

Poděkování

Chtěla bych poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Kataríně Zelové, Ph.D za konzultace, odborné vedení a velkou trpělivost při vypracování mé bakalářské práce.

Ráda bych také poděkovala pracovníkům Gumotexu, a.s., p. Radkovi Jamrichovi a p. Pavlovi Tučkovi, kteří se mnou trávili čas a za jejich cenné rady a ochotu při vedení mé závěrečné práce.

Další poděkování patří rodině a přátelům, kteří mě po dobu studia podporovali.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A JEDNOTEK	8
ÚVOD	9
1 NEKONVENČNÍ ZPŮSOBY SPOJOVÁNÍ TEXTILÍ.....	10
1.1 SVAŘOVÁNÍ HORKÝM KLÍNEM A HORKÝM VZDUCHEM	11
1.1.1 <i>Kombinace svařování horkým klínem a horkým vzduchem</i>	<i>11</i>
1.2 SVAŘOVÁNÍ HORKÝM VZDUCHEM	12
1.2.1 <i>Spojování horkým vzduchem-JOINING.....</i>	<i>13</i>
1.2.2 <i>Podlepování horkým vzduchem - TAPING.....</i>	<i>14</i>
1.2.3 <i>Typy pásků a doporučené materiály pro jejich použití.....</i>	<i>16</i>
1.3 SVAŘOVÁNÍ ULTRAZVUKEM	17
1.3.1 <i>Typy svařování ultrazvukem</i>	<i>18</i>
1.3.2 <i>Stroje pro svařování ultrazvukem</i>	<i>19</i>
1.3.3 <i>Sonoroda.....</i>	<i>20</i>
1.3.4 <i>Využití ultrazvukového svařování</i>	<i>21</i>
1.4 VYSOKOFREKVENČNÍ SVAŘOVÁNÍ.....	22
1.4.1 <i>Stroje pro vysokofrekvenční svařovací.....</i>	<i>23</i>
1.4.2 <i>Výkon stroje pro vysokofrekvenční svařování</i>	<i>24</i>
1.4.3 <i>Využití vysokofrekvenčního svařování</i>	<i>25</i>
2 TECHNOLOGIE VYSOKOFREKVENČNÍHO SVAŘOVÁNÍ.....	26
2.1 ENERGIE POTŘEBNÁ PRO OHŘEV	26
2.1.1 <i>Čas a tlak potřebný pro ohřev.....</i>	<i>28</i>
2.1.2 <i>Materiály vhodné pro VF</i>	<i>29</i>
2.1.3 <i>Konstrukční parametry materiálů pro VF</i>	<i>30</i>
2.2 ELEKTRODY.....	31
2.2.1 <i>Konstrukční parametry elektrod</i>	<i>31</i>
2.2.2 <i>Tvar a profil elektrod</i>	<i>31</i>
2.2.3 <i>Materiálové složení elektrod</i>	<i>36</i>
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	37
3.1 POPIS SVAŘOVANÉHO VÝROBKU	37
3.1.1 <i>Technický popis.....</i>	<i>38</i>
3.1.2 <i>Materiálové listy.....</i>	<i>38</i>
3.1.3 <i>Použité stehy a švy bederního pásu</i>	<i>40</i>
3.2 PRINCIP VYSOKOFREKVENČNÍHO SVAŘOVÁNÍ VÝROBKU	41
3.2.1 <i>Popis stroje pro vysokofrekvenční svařovací.....</i>	<i>41</i>

3.2.2	<i>Tvarovaná elektroda</i>	42
3.2.3	<i>Pokládání materiálů na elektrodu</i>	44
3.3	ANALÝZA PROBLÉMU PŘI SVAŘOVÁNÍ	45
3.4	PROBLEMATICKÁ MÍSTA PŘI SVAŘOVÁNÍ.....	47
3.4.1	<i>Kontrola rovinnosti plochy desky</i>	47
3.4.2	<i>Analýza problémových míst na elektrodě</i>	48
3.4.3	<i>Svařovaný materiál</i>	49
3.5	ODSTRANĚNÍ VAD NA ELEKTRODĚ	50
3.5.1	<i>Rovinnost desky</i>	50
3.5.2	<i>Oprava průboje na elektrodě</i>	50
3.5.3	<i>Instalace pomocného komponentu na desku - zarážka</i>	51
3.6	SVAŘOVÁNÍ MATERIÁLŮ PO ODSTRANĚNÍ VAD NA ELEKTRODĚ	54
3.6.1	<i>Prověření rovinnosti ploch elektrody pomocí kopírovacího papíru</i>	54
3.6.2	<i>První zkoušky svařování bederního pásu</i>	55
3.6.3	<i>Zkoušky svařování</i>	57
3.7	EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠKA PEVNOSTI SVARU	61
3.7.1	<i>Výstupní hodnoty zkoušky pevnosti svaru</i>	63
4	DISKUZE VÝSLEDKŮ	65
	ZÁVĚR	69
	CITOVANÁ LITERATURA	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM TABULEK	72
	SEZNAM PŘÍLOH	73

Seznam použitých zkratek a jednotek

bar	tlak
m/min	metr za minutu
mm	jednotka délky
max.	maximum
Q	síla přitlačná
h	jednotka času
E	intensita elektrického pole
RH	relativní vlhkost
A	elektrický proud
kHz	kilohertz
N	newton
s	čas
°C	stupeň Celsia
%	procento
$tg\delta$	ztrátový činitel
k	rozměrná konstanta
cm ²	centimetr čtvereční
kW	kilowatt
r	poloměr
s	tloušťka svařovaného materiálu
n	počet svařovaných materiálů
h	hloubka provaření
ω	frekvence
ε	poměrná dielektrická konstanta
g/m ²	gram na metr čtvereční

Úvod

Dnešní moderní doba si žádá speciální vlastnosti textilních výrobků. Již jsme si zvykli využívat výhod voděodolnosti, vzdušné nebo chemické nepropustnosti nebo např. pevnosti švů. Pro zachování těchto předností je potřeba spojit materiál speciálním způsobem. Takový se nabízí v metodě nekonvenčního spojování. Jde o spojení termoplastů pomocí tepla, tlaku v určitém čase. Technologie využívá svařování ultrazvukem, vysokofrekvenčně, horkým klínem a horkým vzduchem.

Při hledání informací ohledně nekonvenčního spojování jsme navštívili nejmenovanou firmu, která vyrábí zdravotní výrobky a používá při výrobě ultrazvukové a vysokofrekvenční svařování. Při rozhovoru jsme se dozvěděli, že mají problém u vysokofrekvenčního svařování bederního pásu. To nás to zaujalo, proto jsme si téma začlenili do naší bakalářské práce.

V teoretické části se seznámíme se základními technologiemi nekonvenčního spojování. Dozvíme se princip jejich svařování a představíme stručný přehled svářecích strojů. Větší pozornost v bakalářské práci je věnována vysokofrekvenčnímu svařování, protože se bude věnovat problému svařování bederního pásu. Podrobně je vysvětlena problematika procesu svařování a její úskalí. Seznámíme se s důležitými pracovními parametry, které by se měly při svařování dodržovat.

Cílem je analyzovat problém při vysokofrekvenčním svařování bederního pásu a zjistit jeho příčinu. Budeme vycházet z poznatků, které jsou uvedeny v teoretické části. Navrhujeme kroky, které nám pomohou odstranit problém a pokusíme se je aplikovat v praxi.

V závěru práce doporučíme výrobcí bederních pásů řešení pro odstranění vady svaru při svařování, kterou jsme zjistili a vyzkoušeli při testovacích zkouškách bederního pásu.

1 Nekonvenční způsoby spojování textilií

Nekonvenční spojování je spojení dvou a více termoplastických materiálů pomocí tepla, které je dodáno do materiálu z vnějšího zdroje, nebo tepla vznikajícího přímo v materiálu. Technologie se používá v oblastech textilní výroby, kde se požadují speciální vlastnosti: zejména nepropustnost vody, chemikálií a prachu, odolnost proti tlaku a opotřebení, pevnost a pružnost švů. Umožňuje nám spojování složitých geometrických tvarů, velkých švů a tím napomáhá zlepšovat estetický vzhled.

Nekonvenční spojování zrychluje výrobu a produktivitu práce. Velkou předností pro výrobky je čistota prostředí. Většina spojů je hygienická, čistá, bez lepidel a jiných přídavných materiálů odlišných vlastností.

Princip nekonvenčního spojování termoplastů spočívá v působení tepla a tlaku za určitý čas, způsobem exotermickým nebo endotermickým. Ohřev je vhodně lokalizován do určitého místa, dva nebo více materiálů se v místě svaru roztaví a určitým přítlačným tlakem dojde ke spojení. Po vychladnutí svar tuhne.

Exotermicky: teplo je přiváděno do materiálu přímým stykem z vnějšího zdroje. Svařovaná plocha materiálu se ohřeje na požadovanou teplotu, roztaví se a působením tlaku se spojí. Lze ho provádět z vnější strany, kdy svařovaný materiál prochází mezi tvarovanými elementy, které jsou zdrojem tepla a působením tlaku se za určitý čas spojí. Při ohřevu z vnitřní strany svařovaný materiál prochází na klínu, který je zdrojem tepla až pak následuje působení tlaku mezi dvěma kotouči. [1]

Exotermické svařování rozlišujeme podle způsobu provedení:

1. Svařování horkým klínem
2. Svařování horkým vzduchem (přímé svařování, podlepení švů)

Endotermicky: teplo vzniká v místě, kde se plochy materiálů vzájemně dotýkají. Je to dáno vzájemným třením molekul.

Endotermické svařování rozlišujeme podle způsobu provedení:

1. Svařování ultrazvukem
2. Vysokofrekvenční svařování

1.1 Svařování horkým klínem a horkým vzduchem

Spoj je vytvořen za pomoci tepla a tlaku za určitý čas. Samotný ohřev termoplastického materiálu je realizován horkým klínem. V dalším kroku prochází tavený materiál mezi podávacími válci, které působí určitým tlakem, a tím dojde ke spoji (viz Obrázek 1). Teplo se tvoří prostřednictvím elektrické energie, která je přiváděna do kovového klínu.



Obr. 1 Svařování horkým klínem [2]

Parametry svařování:

1. Tlak válečků [bar]
2. Rychlost válečků [m/min]
3. Teplota klínu [°C]

Při svařování mohou nastat problémy i při poruše hromadění tepla. Roztavené kousky hmoty termoplastického materiálu ulpí na klínu. Stroj se pak musí zastavit a klín vyčistit.

[1] Materiály vhodné pro svařování horkým klínem: polyamid, polypropylen, polyvinylchlorid. Technologie svařování horkým klínem je vhodná pro jednoduché výrobky: stany, markýzy a technické oděvy.

1.1.1 Kombinace svařování horkým klínem a horkým vzduchem

Z nejnovějších metod je kombinace svařování klínem i horkým vzduchem současně. Firma PFAFF jako jediná na trhu vyvinula stroj, který je vybaven horkým klínem a horkým vzduchem. Jeho předností je transformace z horkého klínu na horký vzduch. V jednom svařovacím stroji jsou dvě technologie, díky výměnným jednotkám. Parametry svařovacích strojů jsou uvedeny v tabulce 1. Jejich výměna není složitá. V jednotce je možné prohodit velikost klínu a trysky dle šířky svaru. [2]

Tabulka 1 Parametry svařovacích strojů The Transformer [2]

Horký klín		Horký vzduch	
Teplota klínu	max. 500 °C	Teplota vzduchu	max. 720 °C
Velikost klínu	7, 9, 12, 15, 20, 30, 40 mm	Velikost trysky	10–50 mm
Rychlost válců	10 m/min až 30 m/min		

Firma uvedla na trh víc druhů konstrukcí těchto svařovacích strojů. [2] Na obrázku (viz Obrázek 2) jsou dvě různé konstrukce svařovacích strojů PFAFF 8320 a 8321, s ukázkou použití pro daný produkt. Stroje nabízí velké možnosti pro uživatele. Mezi hlavní argumenty pro jejich pořízení může být ušetření pracovního prostoru nebo úspora nákladů, kdy pro obě funkce lze zakoupit pouze jeden stroj.



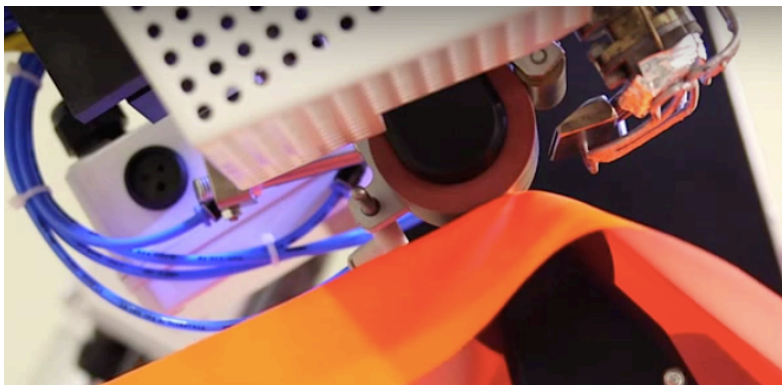
Obr. 2 Svařovací stroje PFAFF 8320 a 8321[2]

1.2 Svařování horkým vzduchem

Materiál se ohřívá horkým vzduchem pomocí horkovzdušné trysky. Místo, kam pod tlakem proudí vzduch z trysky, se nataví (viz Obrázek 3). Mezi horními a dolními válci, které působí určitým tlakem dochází ke spojení taveného materiálu. Výhodou horkého vzduchu je rovnoměrné rozložení tepla po celé ploše svaru, tím nedochází k nesvaření materiálů. [1] Technologie svařování horkým vzduchem se nejčastěji uplatňuje

v textilním průmyslu při svařování lepicích pásků. Ohřátý vzduch pod tlakem proudí na pojící tejp pásky a materiály se navzájem propojí pod přítlačnými válci. Další obecnou technologií je svařování dvou a více termoplastických materiálů bez použití přídavných materiálů. Vhodné pro termoplasty polyester, polypropylen, polyvinylchlorid a polyuretan.

Parametry pro svařování: Tlak válců [bar], rychlost válců [m/min], teplota vzduchu [°C], tlak vzduchu [bar]. [1]



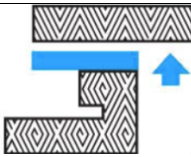

Obr. 3 Svařování horkým vzduchem [3]

Používání moderní technologie svařování horkým vzduchem v textilním průmyslu posouvá produkty na vysokou úroveň, co se týká funkčnosti nebo designu. Díky novým svařovacím strojům spojujeme nebo podlepujeme materiály různými metodami za pomoci pásků. Mezi nepoužívanějšími jsou tak zvaný TAPING a JOINING. Materiály vhodné ke svařování horkým vzduchem: polyvinylchlorid, polyamid, polyester, polypropylen a směsi přírodních vláken s termoplastickými.

1.2.1 Spojování horkým vzduchem-JOINING

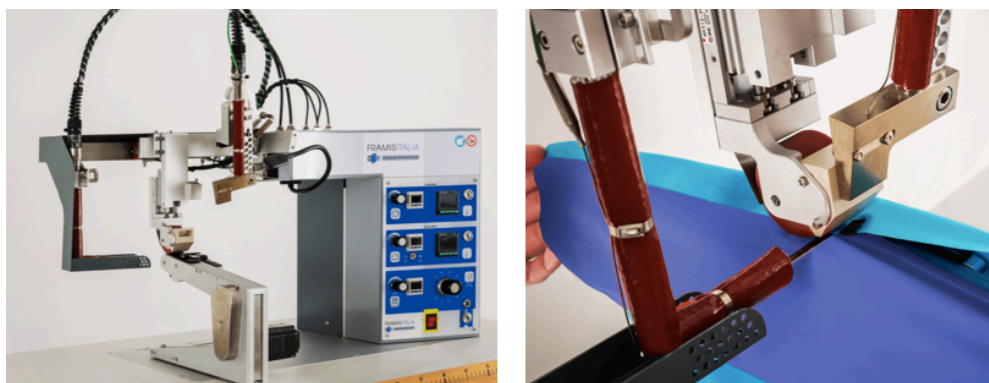
Joining je spojení dvou materiálů pomocí oboustranné lepicí pásky horkým vzduchem. Tento proces je náročný na čas. V prvním kroku se aplikuje oboustranná páska na přední stranu materiálu, v dalším kroku se spojí zadní strana pásky s druhým materiálem. Výsledek spoje je pevný, hladký, téměř neviditelný šev. Nevýhodou této technologie je nutnost použití dvou různých svařovacích horkovzdušných strojů. V tabulce 2 jsou znázorněny dva různé spoje používané u joiningu. [4] Využití pro joiningu se najde především u spodního prádla, outdoorových oděvů, sportovních oděvů, zdravotních výrobků a technických výrobků.

Tabulka 2 Spojení dvou materiálů páskou [4]

	
zajišťovací plus přeplátovaný šev	přeplátovaný šev

Svařovací stroj pro spojování materiálů páskou

Svařovací stroj s horkým vzduchem NOSO MX 212 (viz Obrázek 4) je vybaven přídatným ohřívačem pro efektivní ohřev v oblasti spoje. Tavný proces je rychlejší, metoda je vhodná pro silnější materiály. Před použitím stroje je potřeba aplikovat oboustrannou pásku na přední stranu na jiném stroji, který slouží k podlepování švu. [4]



Obr. 4 Spojovací stroj NOSO MX 212; detail spojovacího stroje[4]

1.2.2 Podlepování horkým vzduchem - TAPING

Svařovací stroje na bázi horkého vzduchu, slouží k aplikaci jednostranné nebo oboustranné pásky. Základní funkcí je podlepování a lepení švů šitých na šicím stroji nebo spojených ultrazvukem. Svařovací stroje s přídatnými komponenty podporují další aplikace s páskou, jako je lemování kraje nebo zpevnění. Pracovní proces zrychlí při lepení pásky ořez přebytečného kraje. Další možnosti aplikace páskou jsou znázorněny v tabulce 3. To nám rozšiřuje oblast jejich použití. Metoda tak zvaná taping je vhodná téměř pro všechny materiály. [4]

Tabulka 3 Základní přehled aplikací pásky [4]



				
zajišťovací podlepení	dekorativní podlepení	zabezpečení zabezpečovací	lemovací šev	aplikace oboustranný pásky a ořez

Produkty vhodné pro taping: spodní prádlo, plavky, šaty, outdoorové oděvy, sportovní oděvy, zdravotní výrobky, speciální oděvy pro hasiče, protichemické oděvy, profesní a pracovní oděvy.

Svařovací stroje pro podlepování švů

Stroje disponují jednoduchými řídicími systémy s digitální jednotkou. V tabulce 4 ukázka svařovacích strojů NOSO MX 218 a VETRON 5474. Mají bezpečnostní opatření pro eventuální poruchu teplot. Pro těžší materiály mají stroje vyhřívaný spodní nebo horní válec, pro snadnější tavení lepidla na pásce.

Tabulka 4 Svařovací stroje s funkcí horkého vzduchu [4,5]

<p>NOSO MX 218</p> <p>Horkovzdušný svařovací stroj k lemování krajů a podlepování švů.</p>	
<p>VETRON 5474</p> <p>Horkovzdušný svařovací stroj pro utěsnění švů v textilním a kožedělném průmyslu.</p>	

1.2.3 Typy pásků a doporučené materiály pro jejich použití

Firma ARDMEL nabízí velkou škálu pásků. Jsou vhodné téměř pro všechny textilní materiály, neobsahují a neuvolňují škodlivé látky, odolávají vysokým teplotám. Některé mohou být nepropustné (kapalinami, vzduchem), jiné mají vlastnosti protiskluzové a jsou odolné proti oděru. Dostupné jsou v různých barvách a strukturách, jsou jednostranné nebo oboustranné. Designeři využívají novou technologii pásků k vytvoření zajímavých detailů na výrobcích. Aplikují se na vnější i vnitřní části výrobků, a to horkým vzduchem nebo ultrazvukem. [3]

Povrch svařované plochy je z polyuretanu, speciálního elastického lepidla a standardního lepidla. V tabulkách je několik druhů pásků, u kterých jsou uvedeny vhodné materiály pro jejich použití. Tištěný materiál s pásky byl věnován firmou ARDMEL. Dalším důležitým vodítkem pro výběr vhodného pásku pro konkrétní produkt je tloušťka a šířka pásků. Pásky jsou vhodné i pro přírodní materiály jako je bavlna a vlna. U některých pásků jsou uvedeny pouze vlastnosti již hotových výrobků. V tabulkách 5 a 6 jsou pásky vhodné i pro elastické materiály, které udrží pružnost i po aplikaci. Pásky z tabulky 5 uplatníme u výrobků jako jsou stany a ochranné oděvy u výrobků vyžadujících měkkost a protiskluzové a elastické švy, např. plavky, trika, šaty a cyklistické dresy. [3]

Tabulka 5 Pásky s lepidlem

Složení	Polyurethan	Elastické lepidlo	Lepidlo
Doporučeno pro materiály	polyester, bavlna, nylon, vlna	strečové materiály, lycra, nylon, polyester	bavlna, polyester, nylon, vlna
Tloušťka pásku (mm)	0,8 a 0,16	0,04/0,08/0,12/0,16	0,02/0,10
Barva	čistá	čistá	čistá
Teplota při aplikaci lepidla (°C)	100-110	120-130	120-130
Doporučené praní (°C)	40-60	40-60	40-60
Šířka pásku (mm)	10-750	10-750	10-750

V tabulce 6 jsou pásky vhodné pro produkty outdoorových a sportovních aktivit nebo ochranné oděvy, které vyžadují vysokou specifickou funkčnost. Lze zaznamenat, že i tloušťka pásky je silnější než u pásků v předešlých tabulkách. V tabulce 7 je přehled

pásek vhodných pro využití u široké škály výrobků, avšak tyto pásy nejsou vhodné pro elastický materiál. V praxi je používáme k aplikaci u výrobků: stanů, člunů, balonů, ochranných oděvů a oděvů do extrémních podmínek. [3]

Tabulka 6 Pružné pásy

Složení	Polyurethan	Elastické lepidlo	Lepidlo
Doporučeno pro materiály	nepromokavé materiály, vhodné pro spodní prádlo, trička, šortky	nepromokavé, prodyšné, dvouvrstvé a třívrstvé materiály	vhodné pro šité švy, nepromokavé materiály
Tloušťka pásku (mm)	0,46	0,59	0,66
Barva	černá	černá	černá
Teplota při aplikaci lepidla (°C)	100-110	100-110	100-110
Doporučené praní (°C)	40	40	40
Šířka pásku (mm)	10-480	10-480	15, 20, 25

Tabulka 7 Pásy pro materiály lehký, střední až těžký švy jsou prodyšné a vodotěsné

Složení	Polyethylen film	Tavné lepidlo
Tloušťka pásku (mm)	0,05/ 0,09/0,12/0,20	0,8/0,10/0,12
Barva	čistá	čistá, bílá, černá
Teplota při aplikaci lepidla (°C)	130-140	100-110
Doporučené praní (°C)	40-60	40-60
Šířka pásku (mm)	10-90	10-960

1.3 Svařování ultrazvukem

Ultrazvukové svařovací stroje využívají pro vytvoření spoje mechanické kmitání o vysoké frekvenci, které se přenáší a šíří k místu svaru. Kmity se mění v teplo vzájemným třením molekul. Termoplastický materiál se nataví a působením určité přítláčné síly dojde ke spojení materiálu. Po vychladnutí svar tuhne. [6]

Kvalita spoje je závislá na parametrech svařování a použití termoplastu. Stoprocentní termoplasty jsou zde nejvhodnější volbou. Mohou se použít i směsi, kde je ale zapotřebí alespoň poměr 65 % termoplastických vláken ku 40 % přírodních vláken. [6]

Parametry svařování:

1. Přítlačná síla Q - zabezpečuje přenos ultrazvukových kmitů.
2. Amplituda kmitů A - vzbuzuje pohyb a tření molekul, tím se vytváří teplo, které taví materiál.
3. Frekvence - u termoplastických materiálů se používá frekvence 15 kHz až 60 kHz. Velikost frekvence je dána měničem.
4. Čas svařování – interval působení ultrazvukové energie na svařovaný materiál. Při svařování se doporučuje používat co nejkratší čas. [6]

1.3.1 Typy svařování ultrazvukem

Bodové svařování

Svar je realizován v jednom bodě určitého tvaru. Ultrazvukové kmity působí kolmo v místě svaru, který je tlakem sevřen. [6] Používá se nízký tlak. Je určený ke svařování malých ploch. Jeho výhodou je, že nevyžaduje čistý povrch v místě svařování a je vhodný pro obtížně přístupná místa.

Zde jsou vhodnými materiály: polyester, nylon, netkané textilie a polyvinylchlorid.

Postupné ultrazvukové svařování

Jedná se o linii bodových svarů postupujících za sebou. Jednotlivé svary tvoří malé plochy. [6] Spoj je přerušovaný a svary mohou mít mezi sebou velké mezery. Je vhodné pro využití také u pružných materiálů.

Kontinuální ultrazvukové svařování

Svařováním se vytvoří souvislý svar, který se dá přirovnat ke konvenčnímu spojování. Šířku a tvar svaru ovlivňují sonotrody nebo kotouče, jejich přehled je v tabulce 7.

Rozlišujeme tři druhy kontinuálního svařování:

1. Pevný horní hrot-spodní rotační kotouč

Materiál projde mezi otočným válcem a vibrující sonotrodou. Spoj je měkký a prodyšný. [6]

2. Pevný horní hrot a spodní pevný hrot

Metoda se používá především tam, kde se řeže a spojuje v jednom procesu. Materiál zůstává na místě na nepohyblivé části.



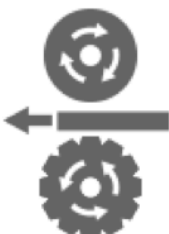
Pohyblivý trn provádí střídavý pohyb, při kterém dojde ke styku s materiálem. Trn svařuje a může i řezat. [5]

3. Rotační horní kotouč a spodní rotační kotouč

Nejpoužívanější metoda ultrazvukového svařování v textilním průmyslu. Je to inovativní technologie, která umožňuje mnoho aplikací.

Díky svým technickým výhodám nahrazuje zavedené technologie konvenčního šití. V jednom procesu lze spojit dohromady dvě a více vrstev materiálu, oříznout kraje a zatavit je.

Tabulka 8 Druhy kontinuálního svařování [7]

		
1. Pevný horní hrot- spodní rotační kotouč	2. Pevný horní hrot a spodní pevný hrot	3. Rotační horní kotouč a spodní rotační kotouč

1.3.2 Stroje pro svařování ultrazvukem

Nové ultrazvukové svařovací stroje jsou vybaveny moderní technologií a nabízí velké množství výhod při svařování. Výrobu urychluje u některých strojů naprogramování a uložení parametrů, které lze ovládat na dálku. Na příklad svařovací stroje VETRON 5064 (viz Obrázek 5) disponuje nejnovějšími funkcemi. Při opětovném svařování materiálu si nastavíme uložené parametry. Ultrazvukovým svařováním docílíme různých šíří švů od 2 mm až 45 mm. Záleží na šíři kotouče nebo sonotrody. Velkou výhodou při svařování v jednom kroku je ořez přebytečného materiálu a utěsnění švu. Pro rovnoměrné podávání materiálu jsou stroje vybaveny diferenciálním podáváním. K dokonalému spoji vede přesná vzdálenost mezi dvěma soustřednými kotouči, který měří snímač. [5]

Na trhu jsou stroje různých konstrukcí pro snadné svařování trojrozměrných tvarů a špatně dostupných míst. Při zastavení stroje nehrozí přehřátí výrobku. Sonotroda

a spodní kotouč zůstávají chladné. Další výhodou je možnost okamžitého svařování bez přípravy a zahřívání komponentů.

Sonotroda má nejčastěji tvar kotouče. Firma Ardmel vyvinula ultrazvukový stroj H 192 (viz Obrázek 5) se sonotrodou ve tvaru hrotu, který má stejné pohybové ústrojí jako šicí jehla. Manipulace při práci je stejná jako u klasického šicího stroje. Má pohyblivou přítlačnou patku a spodní zoubkové podávání. Svařované spoje jsou méně objemné a jejich použití je zejména u spodního a sportovního prádla. Je určen pro téměř všechny druhy materiálů termoplastickými vlákny. Stroj získal cenu Queens Award v oblasti inovací. [3]

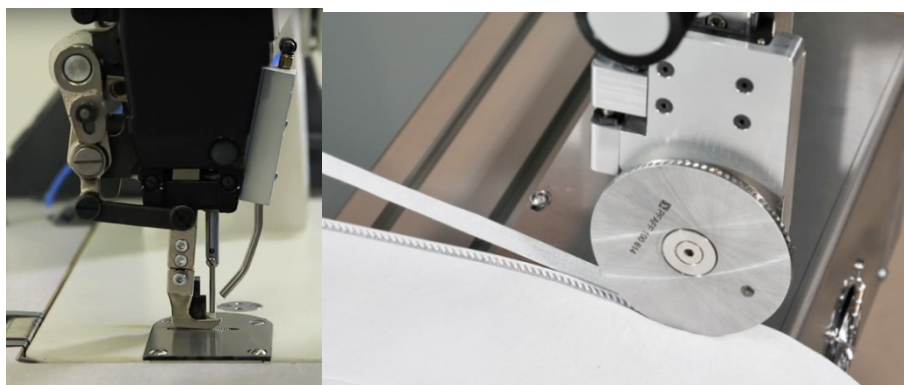


Obr. 5 Ultrazvukové svařovací stroje: VETRON 5064; Ardmel H 192

Parametry výkonu, amplituda a tlak se nastavují postupně při zkoušení správného spoje. Kontinuální stroje mají frekvenci 35 kHz, rychlost max. 10 m/min a tlak max. 10 bar. [2]

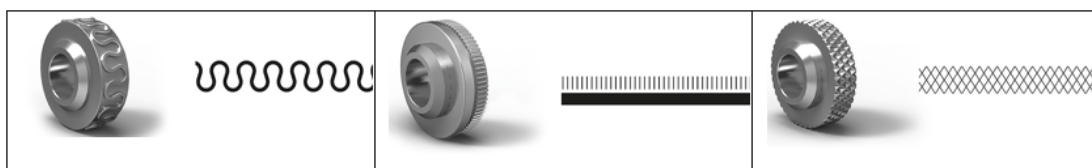
1.3.3 Sonoroda

Důležitá část stroje je sonotroda. Je to vibrující svařovací nástroj, do kterého jsou zavedeny mechanické kmity. Podle konstrukce svařovacího stroje může být sonotroda spodní nebo horní, kotoučového tvaru nebo hrotu (viz Obrázek 6). Pro dlouhou životnost jsou vyrobeny z hliníku, titanu, odolné oceli a mohou být potaženy speciálním povrchem. [2]



Obr. 6 Tvary sonotrod: Sonotroda ve tvaru hrotu; Kotoučová sonotroda– ozdobný spoj s ořezem přebytečného materiálu

Sonotroda nebo kotouč určují, jak bude vypadat svar (viz Obrázek 7). Výrobci sonotrod a kotoučů nabízí standardní nebo komplikované obrysy pro různé aplikace, včetně řezání, utěsnění, vyražení a děrování. Mohou svařovat tenké svary s malou spotřebou materiálu.



Obr. 7 Kotoučové sonotrody od firmy PFAFF [2]

1.3.4 Využití ultrazvukového svařování

Automobilový průmysl: bezpečnostní pásy, autosedačky a doplňky.

Obalový průmysl: uzávěry, obaly, tašky.

Oděvní průmysl: spodní prádlo, šaty, outdoorové oděvy, ochranné oděvy, plavecké oděvy

Zdravotnický průmysl: roušky, jednorázové oděvy, operační příkrývky, jednorázové masky.

Výrobci zdravotních pomůcek

Ultrazvukového svařování využívají výrobci zdravotních pomůcek. Při svařování se udržuje čisté a sterilní prostředí. Při svařování odpadají přídavné materiály, které by mohly znečišťovat prostor. Tím jsou výrobky při zpracování ušetřeny znehodnocení.

Práce je zaměřena na svařování zdravotní pomůcky, proto jsou představeny tři český výrobci zdravotních pomůcek. Jejich produkty se prodávají na českém i zahraničním trhu.

Lohmann&Rauscher s.r.o. je předním dodavatelem a výrobcem zdravotnických a hygienických výrobků. Ultrazvukové svařovací stroje využívá pro výrobu antidekubitních vaků, tampónů, jednorázových masek a chirurgických oděvů.

Firma DINA – HITEX, spol. s r.o. se zaměřuje na vývoj a výrobu jednorázového spotřebního materiálu. Na ultrazvukových svářecích strojích zpracovává svou produkci jednorázových oděvů, sběrných vaků a nálevek.

MedicaFilter, spol. s.r.o. vyrábí respirátory, ústenky chirurgické a jednorázové oděvy.

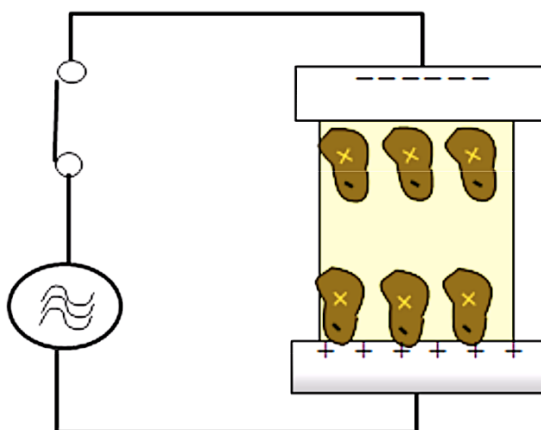
1.4 Vysokofrekvenční svařování

Vysokofrekvenční svařování VF probíhá na principu přeměny elektrické energie na tepelnou energii, která taví termoplastický materiál přímo v materiálu. Pro VF jsou vhodné termoplastické materiály s elektrickou rovnováhou, kterým se říká dielektrika. Proto se někdy uvádí dielektrický ohřev. [8]

Materiál je vložen mezi dvě elektrody (vodiče), které jsou napojeny na vysokofrekvenční generátor. Elektrodami prochází vysokofrekvenční energie do materiálu v místě svaru, kde vznikne střídavé pole. Nastává tavení termoplastu a za působení tlaku se spojí dva nebo více materiálů. Po vypnutí vysokofrekvenční energie začíná chlazení, při kterém stále působí tlak. Po vychladnutí spoj tuhne. Celý děj svařování probíhá rychle, v řádech sekund. Vysokofrekvenční svařování závisí na působení tlaku, času a energie.

Fyzikálním principem dojde při svařování k narušení rovnováhy v materiálu mezi kladnými a zápornými náboji. Nábojem vznikne střídavé elektrické pole. Dielektrika jsou složena z atomů kladně a záporně nabitých částic. Kladné náboje přitahují záporné a záporné kladně nabitě částice. Mluvíme o polarizovaném materiálu (viz Obrázek 8). [9]

Teplo vzniká v materiálu zvýšeným molekulárním třením v celém svaru současně.



Obr. 8 Polarizovaný materiál

Frekvence je rychlost měnícího elektrického pole za vteřinu. Při frekvencích vyšších než 20 000 cyklů za sekundu vzniká vysokofrekvenční pole. [9]

1.4.1 Stroje pro vysokofrekvenční svařovací

Pro vysokofrekvenční stroje jsou povoleny frekvence do maximálně 27,12 kHz. Vyšší frekvence narušují radiokomunikační a televizní signály.

Vysokofrekvenční stroje mají základní komponenty:

1. VF generátor
2. Mechanické části (lis a přepravný pásy)
3. Svařovací elektrody (přenáší proud, tvarované elektrody jsou horní nebo spodní)

Stroje jsou konstruovány na základě požadavku jeho použití. Na trhu jsou stroje stacionární nebo pojízdné různých konstrukcí. Speciální svařovací stroje s velkou kapacitní konstrukcí umožňují svařovat velké plochy. Díky velkým pracovním stolům spojí plochu až 1 000 cm² v jednom cyklu. Jejich výkon je až 25 kW.

Stroje umožní svařovat několik svarů v jednom cyklu. Mohou mít 4, 6 až 8 pracovních míst. [9] Vysokofrekvenční stroje díky novým technologiím svařují rovné nebo složité geometrické tvary. Stroje jsou vybaveny manipulačními pásy, pro posun svařovaného materiálu do lisu mezi elektrody.

Pro malé plochy se využívají svařovací stroje s menším výkonem. Na trhu jsou stroje, které mají výkony (4, 7, 10, 15, 20) kW nebo 25 kW.

Pro průmyslové využití lze uvést dva způsoby svařování:

Kontinuální

Svařování v linii nebo bodově. Svařovací stroje mají podobnou konstrukci jako šicí stroje. Jehlu a patku nahrazuje horní kotouč a spodní kotouč je zabudovaný místo podávacích zoubků a chapačů. Svařovací rychlost je kolem 3 m/min. Kotouče musí mít stejnou obvodovou rychlost, aby se materiál nezastavoval. [9]

Diskontinuální

Nepřetržité rovnoměrné svařování nebo svařování různého tvaru v ploše. Svařovací stroje mohou být malých konstrukcí nebo robustní (viz Obrázek 9), dle požadavků zákazníka. Stroje mohou být poloautomatické, automatické nebo ruční. [1]



Obr. 9 Vysokofrekvenční svařovací stroj [10]

Výrobci vysokofrekvenčních strojů: ZEMAT, SCHIRMACHER, FORSSTROM, HEMANT & CO, INDIAMART.

1.4.2 Výkon stroje pro vysokofrekvenční svařování

Udává, kolik je potřeba výkonu pro danou svařovací plochu. Důležitým parametrem při výběru správného svařovacího stroje pro daný produkt je jeho výkon. Pro zjištění výkonu se používají základní výpočty a další faktory, které ho ovlivňují. První, co musíme vědět je, kolik je svařovaná plocha, která se propočítá podle základního parametru tj. 25 cm² na 1 kW. Určeno pro materiály z polyvinylchloridu. Při vysokofrekvenčním svařování se používají i jiné materiály než PVC. Proto se stanovuje

plocha 10 cm² až 30 cm² na 1 kW. K propočítání ploch k základnímu parametru se došlo díky odborným zkušenostem technologů v oblasti vysokofrekvenčního svařování.

Některé okolnosti podílející se na skutečném výkonu:

1. Druh materiálu – čím vyšší je ztrátový činitel tím nižší může být výkon.
2. Tloušťka materiálu – silnější materiál má nižší ztráty energie, proto není nutná vyšší energie. Teplo vzniklé v tenkých materiálech rychleji odchází do studených elektrod.
3. Krajový faktor - úzká dlouhá elektroda vyžaduje vyšší výkon než kratší široká elektroda při stejné ploše.
4. Vyhřívané elektrody – je potřeba nižší energie. [11]
5. Elektrody blízko sebe – plocha se počítá jako celek, u materiálu s vysokým ztrátovým součinitelem (patří do ní i vzdálenost elektrod) [12]

Výrobci svařovacích strojů mají pro zákazníky orientační tabulky s výkonem, který je určen pro danou plochu. V tabulce 9 jsou orientační výkony pro určitou plochu od výrobce svařovacích strojů ZEMAT.

Tabulka 9 Výkon pro určitou plochu [10]

Výstupní výkon	6 kW	10 kW	15 kW	20 kW
Svařovaná plocha	150 cm ²	250 cm ²	375 cm ²	500 cm ²
Instalovaný výkon	9 kW	15 kW	22 kW	30 kW

1.4.3 Využití vysokofrekvenčního svařování

Při šití termoplastických materiálů konvenčním spojením se snižuje pevnost. V materiálu zůstávají vpichy od šicích jehel, což je v určitých oblastech konečného využití nevyhovující. V 30 letech 20 století se začal vyvíjet vysokofrekvenční ohřev. Svary vytvořené tímto způsobem jsou pevné, ohebné, nepropustné, pružné, vodotěsné a odolné proti chemikáliím. Svařené plochy splynou s materiálem. Při svařování se nepoužívá další přídavný materiál. Vysokofrekvenčním svařováním svařujeme složité a rozměrné tvary, které by byly časově náročné na spojení konvenčním způsobem.

Doba svařování tenkých materiálů s malou plochou se pohybuje kolem jedné sekundy silný materiál s větší plochou kolem pěti sekund. VF je rychlý, šetří čas a náklady ve výrobě. [8]

Zdravotnický průmysl

Svařování vysokou frekvencí dává možnost při výrobě zdravotních výrobků udržovat čisté prostředí bez prachu a splňuje vysoké nároky na hygienu.

Firma Lohman&Rauscher využívá vysokofrekvenční ohřev při výrobě bederního pásu.

Automobilový průmysl

ŠKODA AUTO: potahy sedadel, výplně dveří, sluneční clony, rohožky

Technický průmysl

VF se používá i v textilní architektuře. Nabízí kvalitní formu velkoformátového zastřešení, výrobky odolávají povětrnostním podmínkám a propouští světlo.

SVITAP J.H.J. spol. s.r.o.: haly plachty, stany [13]

FATRA a.s.: nafukovací hračky

GUMOTEX, a.s.: čluny, nafukovací matrace, záchranářské vesty

CELTIMA s.r.o.: stany, plachty

FAMTENTS & RENTS s.r.o.: stany



Obr. 10 Využití textilní architektury k zastřešení budovy[13]

2 Technologie vysokofrekvenčního svařování

2.1 Energie potřebná pro ohřev

Rozdílné materiály se ohřívají vysokofrekvenčním svařováním s odlišnou účinností. O materiálech, které vstřebávají více vysokofrekvenční energie, rozhodují dielektrické

vlastnosti, ztrátový úhel a poměrná dielektrická konstanta. Tangens ztrátového úhlu označovaný ztrátovým činitelem $\operatorname{tg}\delta$ udává rozměr ztracené energie v izolantu (kondenzátoru). Dva vodiče elektrody oddělené izolantem vytváří kondenzátor. Poměrná dielektrická konstanta, zvyšuje množství kondenzátoru. Ze ztrátového činitele $\operatorname{tg}\delta$ a poměrné dielektrické konstanty se vypočítá energie potřebná pro ohřev. [14]

$$N = k \cdot E^2 \cdot \omega \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta \quad [\text{Wm}^{-3}] \quad (1)$$

kde: N – ohřívací výkon

k – rozměrová konstanta $[\text{m.kg.V}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}]$

E – intenzita elektrického pole $[\text{Vm}^{-1}]$

ω - frekvence $[\text{s}^{-1}]$

ε - poměrná dielektrická konstanta

$\operatorname{tg}\delta$ - ztrátový činitel materiálu [14]

Efektivní dielektrický ohřev očekává při dané frekvenci minimální dielektrické ztráty, které jsou dány ztrátovým činitelem $\operatorname{tg}\delta$ a poměrnou dielektrickou konstantou ε . Pro VF svařování je ztrátový činitel $\operatorname{tg}\delta$ podstatným kritériem při hodnocení vhodného materiálu. Z celkové energie stanovuje konkrétní část v kondenzátoru, která se mění z dielektrika na teplo. Často se používá pro vyjádření kvality dielektrika součin $\varepsilon \cdot \operatorname{tg}\delta$. Jeho název je ztrátové číslo izolantu. Označuje se $\varepsilon \operatorname{tg}\delta$. [14] V tabulce 10 jsou uvedeny materiály vhodné pro vysokofrekvenční svařování se uvádí ztrátový činitel.

Tabulka 10 Ztrátový činitel u vybraných materiálech [8]

Materiál	Ztrátový činitel $\operatorname{tg}\delta$
Polyvinylchlorid	0,12
Polyuretan	0,07
Polyamid PA	0,03 – 0,05
Polyamid 66	0,03

$\operatorname{tg}\delta > 0,1$ VF svařitelný materiál

$\operatorname{tg}\delta > 0,01$ VF je možno materiál svařit

$\operatorname{tg}\delta > 0,001$ VF není možno materiál svařit [14]

Jestliže chceme počítat parametry, musíme si uvědomit, že výsledky jsou pouze orientační. Pro přesné výsledky se musí přesně stanovit vlastnosti materiálu za daných pracovních podmínek a vysokofrekvenční generátor musí být zdrojem konstantního napětí s konstantním kmitočtem. Toho bohužel nelze toho dosáhnout. Hodnoty jsou jen hrubým odhadem. [8]

Technologové pracující ve výrobě s vysokofrekvenčními stroji obdrží od výrobce základní výchozí parametry (potřebná energie, čas a tlak) pro konkrétní svařovaný produkt. V případě, že spoj vykazuje špatný svar, mění si uživatel postupně parametry do doby, než dosáhne kvalitního spoje. Uživatelé svařovacích strojů se shodují, že je to nejjednodušší varianta nastavování parametrů. Výpočty potřebné energie pro ohřev podle vzorců jsou časově náročné a nepřesné.

2.1.1 Čas a tlak potřebný pro ohřev

Vysokofrekvenční svařování je závislé na tlaku, čase a proudu. Parametry jsou uvedeny v tabulce 11. Pro nastavení parametrů pro správný ohřev neexistuje žádný přesný návod. Výrobce nám poskytne pouze základní nastavovací parametry. Vždy začínáme s nejmenšími hodnotami a postupně je zvyšujeme, až získáme jejich optimální soubor. Vždy měníme jen jeden parametr.

Tabulka 11 Parametry vysokofrekvenčního svařování

Parametr	Jednotka
Čas	s
Tlak	bar
Energie	A
Prodleva	s

Čas

Doba, kdy vysokofrekvenční proud proudí do elektrod. Po vypnutí proudu končí doba ohřívací a nastává chlazení, které je o 20 % vyšší než doby svařovací. Tenký materiál s dobrými ztrátovými čísly má dobu svařovací 0,2 s. [15] Před samotným svařováním se nastavuje prodleva. Je to doba, kdy horní elektroda dosedá na spodní elektrodu bez tlaku.

Tlak

Tlak nemá velký vliv při svařování, jeho působení neovlivňuje kvalitu. Tavený materiál nepotřebuje vysoký tlak. Do svaru lehce pronikne elektroda díky změknutí materiálu. [15] Pro nastavení parametrů svařování není žádný účinný model. Na univerzitě v Lublani provedli experiment nastavení parametrů proudu a času. Vysokofrekvenčním ohřevem svařovali 400 vzorků zdravotních vaků z polyvinylchloridu. Proběhlo 5 testů. Vždy se změnil pouze jeden parametr, ostatní zůstaly zachovány. Experiment byl uskutečněn v klimatizovaném prostředí se stálou teplotou a vlhkostí. Zjistilo se, že tloušťka svaru klesá s delší dobou svařování a vyšším výkonem. Závislost tloušťky svaru na výkon je výrazná. Vyšší časy svařovací s nižším výkonem nevytváří uspokojivé výsledky.

1. Rozsah tloušťky svaru 45 - 65 % z původní tloušťky materiálu má nejlepší výsledky. Svar je nejkvalitnější.
2. Při tloušťce svaru nad 80 % z původní tloušťky materiálu se zjistila nízká pevnost svaru.
3. Tloušťka svaru pod 40 % z původní tloušťky materiálu způsobuje ostré kraje, které lze snadno zlomit. [16]

Experiment nám orientačně ukazuje, jak by měl vypadat kvalitní svar. Výsledky můžeme použít pro subjektivní hodnocení svaru.

Pro další posuzování optimálního spoje stačí zhodnotit hrany svaru. Zajímá nás materiál přeteklý v kraji. Jestliže v něm objevíme bubliny a nepravidelně tvarované „housenky“, znamená to nekvalitní spoj. Dalším kritériem je zjistit jeho pevnost v tahu mechanickou zkouškou. Výsledky budeme hodnotit mezi sebou. Spoj, který bude vykazovat nejvyšší pevnost, můžeme brát jako nejkvalitnější. Pevnost svaru se neřídí normou. [17]

2.1.2 Materiály vhodné pro VF

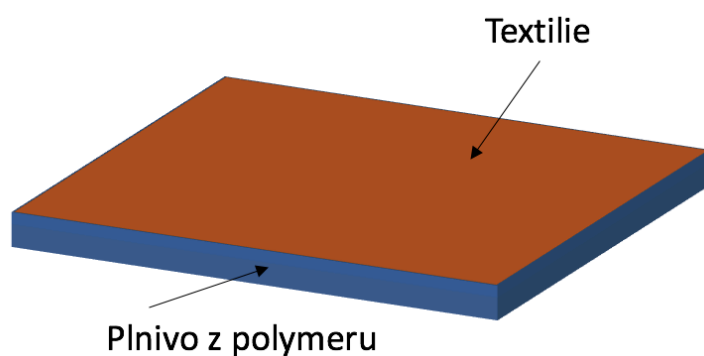
Zde jsou vhodné materiály s polárními vlastnostmi. U polárních dielektrik dojde v atomech k narušení elektrických nábojů, které jsou neuspořádané. Při polarizaci se dipóly uspořádají do jednoho směru. [17] Abychom mohli dosáhnout kvalitního svaru při vysokofrekvenčním ohřevu, doporučují se termoplastické materiály s polárními vlastnostmi. Materiály s nejlepšími vlastnostmi pro VF:

1. Polyvinylchlorid [min plošná hmotnost 100 g/m²]
2. Polyuretan [min plošná hmotnost 100 g/m²]
3. Polyamid [min plošná hmotnost 90 g/m²]
4. Polyamid 66 [min plošná hmotnost 90 g/m²] [9]

Polyester se nedoporučuje pro dielektrický ohřev pro jeho nízký ztrátový činitel (v odborných literaturách a výrobců se neuvádí ztrátový činitel polyesteru). Je možné ho svařovat při vyšších frekvencích, ty ale bohužel nejsou povoleny. Někteří výrobci zkouší svařovat polyester vyhřívanými elektrodami. Díky inovacím lze svařovat textilie, které nejsou vhodné pro dielektrický ohřev. Při spojení různých materiálů můžeme docílit kvalitních vlastností pro vysokofrekvenční svařování. Dvou a vícevrstvé materiály jsou složeny z komponentů s různými fyzikálními a chemickými vlastnostmi.

Pro vrchní lící stranu se zpravidla používá tkanina nebo pletenina nevhodná pro dielektrický ohřev. Má nízký ztrátový činitel $tg\delta$.

Na spodní straně, která je svařovaná, má jako pomocnou vrstvu membránu (viz Obrázek 12). Ta má dielektrické vlastnosti a skládá se z plniva-polymeru.



Obr. 11 Laminovaný materiál

2.1.3 Konstrukční parametry materiálů pro VF

Materiály i s vysokým ztrátovým činitelem mají někdy problém s dosažením kvalitního spoje. Může to být podmíněno konstrukčními parametry materiálu. Ovlivňující parametry rovnoměrného ohřevu:

1. Nestejnorodost materiálu
2. Nerovnoměrná tloušťka materiálu
3. Plošná hmotnost
4. Změkčovadla
5. Barviva a jiné přísady

6. Velké rozdíly v tloušťce materiálu [1] [8]

2.2 Elektrody

U vysokofrekvenčního svařování jsou nejzásadnější elektrody. Stroje disponují dvěma elektrodami. Jedna je vodorovná deska a druhá má určitý tvar a velikost. Výběr tvarované elektrody pro horní nebo spodní využití závisí na konstrukci vysokofrekvenčního svařovacího stroje a jejich použití ve výrobě. Dále elektrody ovlivňují kvalitu svaru a celý proces ohřevu závisí na nich.

Elektrody jsou vodiči, přes které se dodává vysokofrekvenční energie do dielektrika, kde se mění v teplo. [8] Další funkci má ochlazovací. Po vypnutí energie se elektrody chladí a svar tuhne.

Při ohřevu je zapotřebí současně působit tlakem na místo spoje. Funkci vykonává horní elektroda, která přenáší tlak na spodní elektrodu. U materiálu z polyvinylchloridu se tlak pohybuje kolem 2 až 5 kg/cm² aplikovaný na 1 cm² svaru. [8] Při svařování se používají dva tlaky. První působí při ohřevu dielektrika a po vypnutí proudu, tlak stále působí po dobu chlazení.

Některé svařovací stroje mají ohřívané elektrody pro urychlení ohřívacího procesu. Metoda se používá převážně při ohřevu dielektrika s nízkým ztrátovým číslem. [8] U svařování s vyhřívanými elektrodami často nastanou problémy s velkou koncentrací tepla. Nastává poškození materiálu v místě spoje. Další nevýhodou je, že nenastane náhlé ochlazení. Materiál se může poškodit, místo svaru je slabé a pórovité. [14]

2.2.1 Konstrukční parametry elektrod

Elektroda musí být přesná, je to podstatná část svařovacího stroje a další kritérium pro rovnoměrný ohřev. Pro zaručený bezporuchový ohřev musí být elektrody rovnoběžné s deskou. Nevyrovnání ploch elektrod má dopad na svar. Spoj netěsní a není dostatečně svařen. Tvarovaná elektroda musí být po celé své ploše v těsném kontaktu s vodorovnou elektrodou. Vodorovné a tvarované elektrody musí být vyrobeny s přesností až 0,01 mm zejména při svařování tvarovaného obrysu nebo při použití vyhřívaných elektrod. [8]

2.2.2 Tvar a profil elektrod

Tvar a velikost

Tvar a velikost elektrod závisí na jejich použití ve výrobě. Nejčastěji se používá jedna tvarovaná elektroda. Pro výrobu elektrod se používají různé tvary vyráběné z pásového

materiálu, který se ohýbá a spojuje přivařením nebo nýtováním. Složité tvary jsou vyrobeny z jednoho kusu odlitku. Plocha elektrod je přebroušena a je třeba pravidelně kontrolovat její rovinu. Pro ozdobný nebo spojovací svar jsou dvě stejně tvarované elektrody provedeny jako matrice (viz Obrázek 13). Na ploše jedné z elektrod je vyrytý obraz nebo logo, a to se při ohřevu promítne do svaru. Metoda se používá jako dekorace nebo pevný svar. [8]



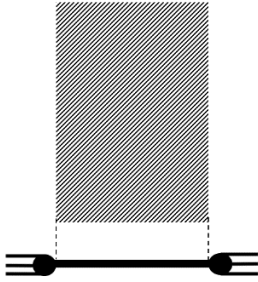
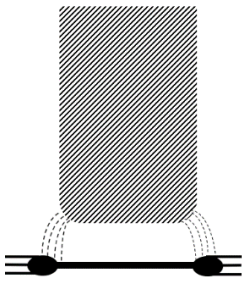
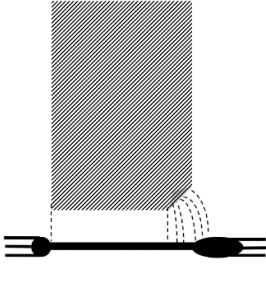
Obr. 12 Spodní mosazná elektroda vyrobená z pásového materiálu

Profil elektrod

Styčná plocha elektrod má tři základní profily tabulka 12 a určuje šířku a délku svaru.

1. Ploché elektrody – styčná plocha je stejná jako plocha elektrody. Vyteklý materiál vytvoří do stran malé „housenky“.
2. Zaoblené elektrody – díky zakulaceným hranám se vytvoří menší plocha svaru, než je skutečná plocha elektrody.
3. Se zkosenou hranou – v místě zkosení plochy elektrod nedosednou a svar je menší o délku zkosení. [14]

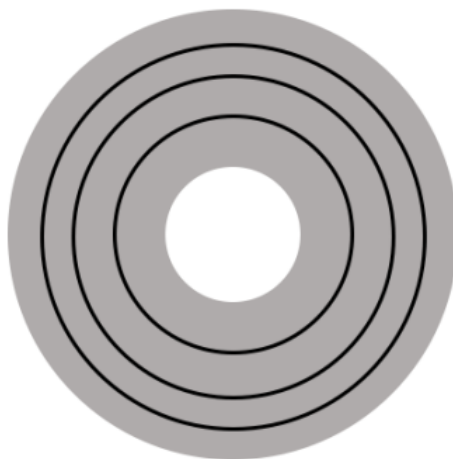
Tabulka 12 Profily elektrod a šíře svaru [14]

		
1. plochá elektroda	2. zaoblená elektroda	3. elektroda s kosenou hranou

Při svařování dochází ke krajovým efektům. Jejich velikost závisí na tloušťce svařovaného materiálu a profilu elektrody. Na elektrodu působí tlak a její tvar vniká do taveného materiálu, který vyteče do hran svaru. Tak vzniká okrajový efekt. [14]

Elektrody s velkou plochou

Při svařování velkých ploch dochází k vytlačení materiálu do stran svaru. Způsobuje to velký okrajový efekt, který je silný a vysoký. Mezi svarem a materiálem je silný vyčnívající kraj. Aby se zamezilo efektu, jsou elektrody opatřeny drážkami plynule rozmístěnými po ploše (viz Obrázek 14). Velké nahromadění taveného materiálu se nerozteče do krajů, ale do drážek. Kraj svaru má pak optimální velikost. Hloubka drážky se pohybuje kolem 1 mm. Můžeme si to ukázat na příkladu u elektrody s tvarem mezikruží o průměru svařované plochy 210 mm a vnitřní nesvařovanou plochou průměru 50 mm. Na svařované ploše jsou drážky pro tavený materiál. Po svaření zůstává elektroda plochá, drážky se na povrchu téměř neprojeví, protože je zaplněna materiálem.



Obr. 13 Plocha elektrody s mezikružím

Hrany elektrod

Ostré hrany u nových elektrod poškozují materiál při svařování. Zejména polyvinylchloridová fólie s malou tloušťkou. Pro odstranění ostré hrany použijeme jemný brusný papír.

U elektrody s menším poloměrem zaoblení v hraně, je v místě dosaženo větší intenzity ohřevu a spoj je svařen stejnoměrně po celé šířce a délce. Za předpokladu co nejmenšího zaoblení. [17]

Poloměr zaoblení je dán vztahem

$$r = \frac{d}{s} \quad (2)$$

kde: r – poloměr zaoblené elektrody

d – šířka elektrody

Hloubka provaření je dána

$$h [\%] = \frac{h}{ns} 100 \quad (3)$$

kde: h – hloubka provaření [mm]

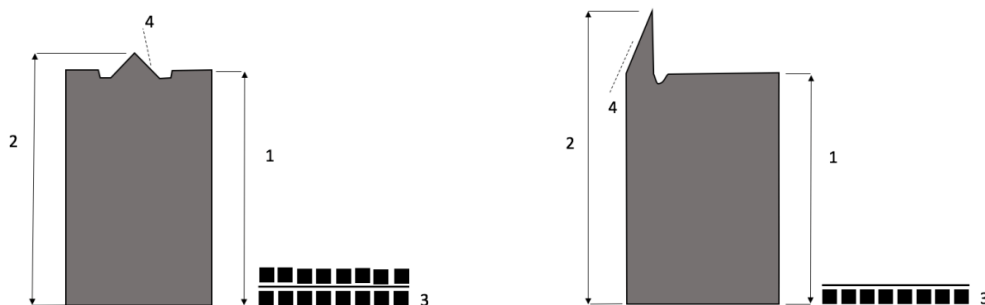
n – počet svařovaných materiálů

s – tloušťka svařovaného materiálu [17]

Řezací elektrody

Existuje řada speciálních elektrod, které zjednodušují výrobu nebo přidávají výrobku užitnou funkci. Upravená plocha elektrod vyvaří do svařovaného materiálu otisk loga a dalších jiných nápisů. Pro techniku je elektroda realizována jako matrice. Vtlačením taveného materiálu do prohloubení v matrici vznikne otisk. Technologie se používá jako dekorativní nebo pro zpevnění svaru. V hraně svaru se materiál nevytláčí ven, zůstává v prohloubení. Svary mohou mít různé podoby.

Elektrody s ostrou zkosenou hranou plní svařovací a řezací funkci (viz Obrázek 15). Na obrázku vidíme příklady profilu elektrod s řezací hranou. Úhel ostří má různé úhly. Pro tvrdší materiál volíme úhel s menším sklonem. Hrot s ostrým sklonem úhlu vniká do materiálu snadno, ale jeho životnost je krátká, při řezání se rychle opotřebí o tvrdý materiál. [18]



Obr. 14 Profil elektrody a tvar svaru (1 - výška svařovací plochy; 2 - výška řezací; 3 - tvar svaru; 4 - úhel ostří) [18]

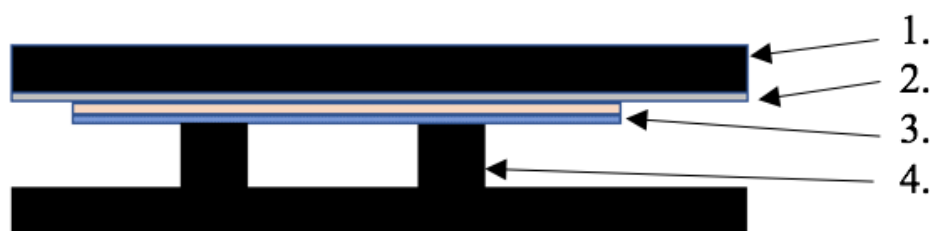
Při použití řezacích elektrod je potřeba tvrdé izolační podložky, která odděluje vodiče při odseknutí svařovaného materiálu a zabraňuje mezi nimi zkratu. Musí být pevná, aby vydržela tlak a odolná proti ostrým hranám. Nesmí měknout, ztrátový činitel $\tan \delta$ by měl být co nejnižší a poměrná dielektrická konstanta ϵ co největší. Napětí a ztráta na izolační podložce bude nižší, a tím vyšší bude ϵ vzhledem ke svařovanému materiálu. [17]

2.2.2.1 Izolační vrstva

U některých materiálů se používá při svařování izolační vrstva. Zabraňuje průrazům a přilnutí materiálu s elektrodou. Materiál vhodný jako izolační vrstva je pertinax, silikonová guma a len (viz Obrázek 16).

Izolační vrstva musí mít vlastnosti:

1. Špatný vodič
2. Nesmí se zahřívat v endotermickém ohřevu, musí pohlcovat co nejméně energie [17]



Obr. 15 Vložení izolační vrstvy (1. horní rovná elektroda; 2. izolační vrstva; 3. svařovaný materiál; 4. spodní tvarovaná elektroda)

Izolační vrstvy odolávají teplotě až do 160 °C a neovlivňují vysokofrekvenční ohřev. Kvalitní izolační vrstva má být, pokud možno bezbarvá. [14]

2.2.3 Materiálové složení elektrod

Materiál pro výrobu elektrod musí být dobrým elektrickým vodičem. Doporučuje se mosaz. Vydrží vysoké tlaky a dá se snadno opravit při poškození průbojem. Další používané materiály jsou ocel a dural.

Ocel se využívá pro elektrody, které v jednom procesu ohřívají a sekají svařovaný materiál. Ocel je pevnější než mosaz a elektroda zůstává déle teplá. Mnohem snáz pronikne do svařovaného materiálu a nedojde k průrazům. Nevýhoda oceli je při poškození, hůř se opravuje a podléhá korozi, proto se provádí povrchové úpravy. [17]

Dural je druhý nejpoužívanější materiál pro výrobu elektrod. Má podobné vlastnosti jako mosaz. Bohužel se rychle opotřebovává, je měkký a nevydrží tolik svařovacích cyklů. Při průboji dojde k černému zbarvení elektrody a znečištění místa svaru. Pro nosič elektrod se doporučuje použít hliník.

3 Experimentální část

Cílem bakalářské práce bylo zajistit pevný svar u bederního pásu. Experimentální část je zaměřena na správné nastavení parametrů vysokofrekvenčního stroje a dobrou rovinnost elektrody, která zajistí kvalitní svar a bezporuchové svařování. V závěru se bude zkoušet pevnost svaru, pro porovnání mezi testovanými vzorky s pevným svarem.

3.1 Popis svařovaného výrobku

Bederní pás je zdravotnická pomůcka, která slouží ke stabilizaci zad v bederní části při nesprávném držení těla a fungování svalů (viz Obrázek 17 a 18). Pohodlí uživatele zaručuje pružný materiál, ze kterého je vyroben. Stabilitu v oblasti zad zajišťují čtyři sloupky, vytvořeny z tunelů, do kterých jsou vloženy výztuhy. Díly, ze kterých jsou vytvořeny tunely mají složitou konstrukci, proto se zpracovávají nekonvenčním spojováním, a to vysokofrekvenčním svařováním. Tím jsou docíleny hladké bezešvé spoje, svary jsou pevné, čisté a bez vpichů od jehly.



Obr. 16 Lícová strana bederního pásu



Obr. 17 Rubová strana bederního pásu

3.1.1 Technický popis

Dlouhý pružný pás s horním rovným krajem a spodním tvarovaným krajem, který je lemován souběžně do bočních krajů.


Lícová strana výrobku - Ve středové části jsou navařeny vysokofrekvenčním svařováním dva geometricky tvarované díly, které vytvoří 4 tunely, do kterých jsou vloženy výztuhy. V pravé boční části v celé šíři je našitá velcro smyčka. Aby nedocházelo k uvolnění při nošení, je na velcro smyčce našitý u pravého kraje velcro háček.

Rubová strana – Od pravého bočního kraje směrem ke středu pásu je našitá velcro smyčka. Přes celou šíři v pravém bočním kraji je našitý velcro háček, který přesahuje 1 cm přes kraj.


3.1.2 Materiálové listy

Produkt se skládá ze dvou materiálů. Základní materiál tabulka tvoří pružný dlouhý pás, který přichází do kontaktu s tělem. Doplňkový materiál tabulka 14 tvoří dva tvarované díly navařeny na lícovou stranu základního materiálu. V následující tabulce 15 jsou popsány technické informace o jednotlivých materiálech a jejich zpracování.

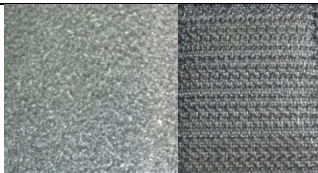
Tabulka 13 Materiálový list - základní materiál

Druh tkaniny	pružný pás	
Vazba	keprová	
kraj pásu	plátňová	
Složení materiálu	62 % polyester 15 % polyamid 23 % elastodien	
Tloušťka materiálu	1,9 mm	
Plošná hmotnost	782 g.m ⁻²	

Tabulka 14 Materiálový list - doplňkový materiál

Materiál	pletenina/ zátěr	
Vazba	zátažná jednolícni	
Materiálové složení	100 % polyester 100 % polyuretan (zátěr)	
Tloušťka materiálu	0,6 mm	
Plošná hmotnost	342 g.m ⁻²	

Tabulka 15 Drobná příprava

Velcro	100 % polyamid	
Lemovací proužek	100 % polyester	
Šíře lemovky	240 mm	
Vazba lemovky	plátnová	
Výztuha	šíře 200 mm/ 0,7 mm	
Šicí nitě	100 % polyester, zákrut Z	

Stanovení plošné hmotnosti u základního materiálu a doplňkového materiálu

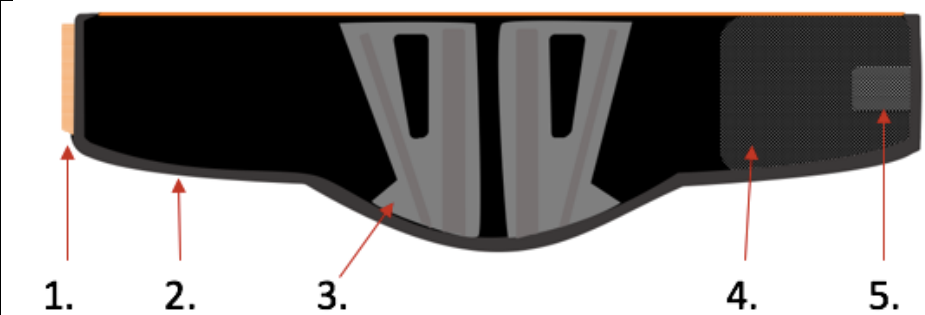


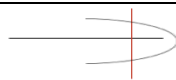




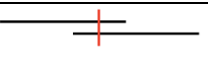

Pomocí formy a ručního vysekávacího stroje (viz Obrázek 19) vysekáme vzorek 100 mm × 100 mm. Následuje sušení 4 h při teplotě 115 °C a uložení vzorku v klimatizovaném prostoru 24 h při 65 % RH a 20 °C. Vzorek materiálu je vážen na váze s přesností na 0,0001 g (viz obrázek 19).



Obr. 18 Pomůcky pro stanovení plošné hmotnosti: a) vysekávací forma; b) ruční vysekávací stroj; c) váha

3.1.3 Použité stehy a švy bederního pásu

Tabulka 16 Třídy stehů a rozbor švů

		
1.	šev	7. začistiřovací 
	steh	301 
2.	šev	3. lemovací 
	steh	304 
3.	šev	1. hřbetový 
	steh	spojeno vysokofrekvenčním svařováním
4.	šev	1. hřbetový 
	steh	301 
5	šev	1. hřbetový 
	steh	301 

3.2 Princip vysokofrekvenčního svařování výrobku

Technologie vysokofrekvenčního svařování se používá v první fázi výroby. Je k tomu určen vysokofrekvenční stroj značky ZEMAT. Důležitým článkem pro svařování je elektroda, která je nedílnou součástí svařovacího stroje.

3.2.1 Popis stroje pro vysokofrekvenční svařovací

Svařujeme na diskontinuálním stroji s výkonem 20 kW (viz Obrázek 20). Proud prochází horní deskou elektrodou od jejího středu do krajů. Elektroda na spodní desce slouží jako uzemňovací. Elektrody nesmí být vzájemně v kontaktu, jinak vznikne elektrický průboj. Svařovací stroje jsou vybaveny pojistkou, která zabrání jejich styku. Na spodní desku je položena izolační vrstva pertinax. Svařovací stroj nemá vyhřívané elektrody a rovnoběžnost ploch vyrovnává automaticky.



Obr. 19 Vysokofrekvenční stroj

Parametry stroje nastavujeme na displeji (viz Obrázek 21). Jsou důležitým kritériem správného svařování. Můžeme je upravovat v průběhu svařování nezávisle na sobě. Vysvětlíme si, jaký význam mají parametry svařovacího stroje.



Obr. 20 Displej svařovacího stroje

Vysvětlíme si provázání mezi nastavitelnými parametry svařovacího stroje, pro lepší orientaci se budeme řídit hodnotami na displeji uvedenými na obrázku 21.

První parametr na displeji je **původní výkon**, který je provázán s **prodlevou**. Když si zvolíme u **provozního výkonu** 1 ampér, značí to, že proudí energie do lampy pouze 0,4 ampéru (je to 40 % původního výkonu) v době prodlevy. Po odeznění prodlevy probíhá náběh na 1 ampér. Původní výkon a prodleva mají ochránit lampu před velkým rázem proudu, mohlo by ji to poškodit. Lampa je důležitý článek svařovacího stroje, přes kterou proudí proud. Měla by probíhat pravidelná kontrola lampy, a hlavně výměna v pravidelných intervalech.

Čas je doba samotného svařování, před svařováním se nastaví parametry vyšší nebo nižší a postupně se upravují do doby, než je svar kvalitní.

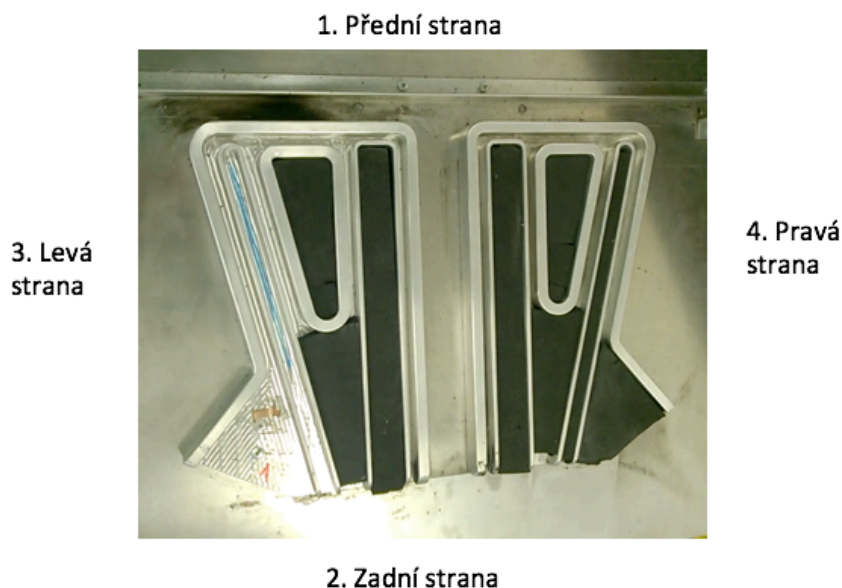
Hodnota výkonu je rychlost proudu, který jde do elektrody. Výkon 1 znamená rozjíždění rychlost proudu a postupným zvyšováním výkonu se zrychluje rychlost proudění proudu. Nejvyšší parametr výkonu svařovacího stroje znamená maximální proudění proudu do elektrody. Optimální hodnota výkonu je 3 a 4. Svařovací stroj, na kterém bude svařováno výkon 6.

3.2.2 Tvarovaná elektroda

Elektroda je tvarovaná, skládá se ze dvou dílů, zrcadlově připevněna nýty na desce. Tvar elektrody je uzpůsobený tak, aby se vytvořily tunely z doplňkového materiálu. Elektroda není vyrobena z pásového dílu, ale z jednotlivých komponentů svařených do jednoho celku. Plocha elektrody je přebroušena a hrany mají mírný oblouk. Elektroda a deska je

z duralu. Elektroda (viz Obrázek 22) má vyjímatelné výplně z černé pěny. Slouží k tomu, aby se doplňkový materiál při svařování nepropadal do mezer formy.

Pro lepší orientaci si nazveme strany elektrody *přední*, *zadní*, *pravá* a *levá strana*. Na přední straně nad tvarem elektrody je umístěn pás z duralu, který nemá žádnou funkci. Tvary zrcadlově k sobě umístěné mají od sebe danou vzdálenost, která se váže k velikosti výrobku.



Obr. 21 Původní elektroda

Konstrukční parametry tvarované elektrody

Celková plocha určená ke svařování je 170 cm^2 . Kdybychom měli rovnou elektrodu jednoduchého tvaru, mohli bychom se řídit daným výkonem z tabulek, které mají výrobci svařovacích strojů. Tvar naší elektrody je tvarově složitý, proto je vhodný výkon svařovacího stroje 20 kW.

Elektroda má zaoblené hrany, jejich poloměr je 1 mm. Elektroda má dvě šířky ploch (viz Obrázek 23). Nejširší místo plochy elektrody je 7 mm a nejužší 2 mm. Výška elektrody je 15 mm.



Obr. 22 Detail ploch elektrody

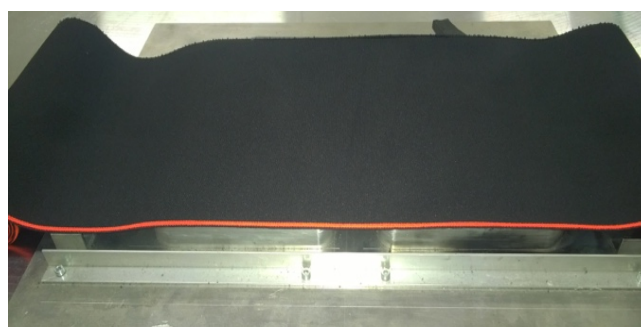
3.2.3 Pokládání materiálů na elektrodu

Výrobek má splňovat určitá kritéria, hlavním je velká pružnost pro volný pohyb uživatele a snadná manipulace při používání. Dalším důležitým prvkem je zpevnění těla v oblasti zad. Proto je základním materiálem silný pružný pás a pro vytvoření tunelů jsme použili slabší materiál, aby se tloušťka pásu nezdvojnásobila.

Materiál, který je v kontaktu s plochou formy je lícová strana doplňkového materiálu a na rubové straně doplňkového materiálu leží základní materiál lícovou stranou (viz Obrázek 24).



a)



b)

Obr. 23 Pravidelné umístění materiálů na elektrodě: a) doplňkový materiál; b) základní materiál

3.3 Analýza problému při svařování

Při svařování nedochází ke spojení materiálů v místě svaru (viz Obrázek 25). Doplnkový materiál jde velmi snadno oddělit od základního a v určitých místech nedrží vůbec. Svařované dílky nejsou souměrně svařované. Levý dílek má jen dvě bodová místa, kde je svar pevný. Na pravém dílku jsou svary pevné na více místech.



Obr. 24 Nekvalitní svar

Byla provedena změna parametrů svařovacího stroje, bez výsledků. Při vyšším nastavení vznikne průboj (viz Obrázek 26), který zapříčiní zahoření materiálu.

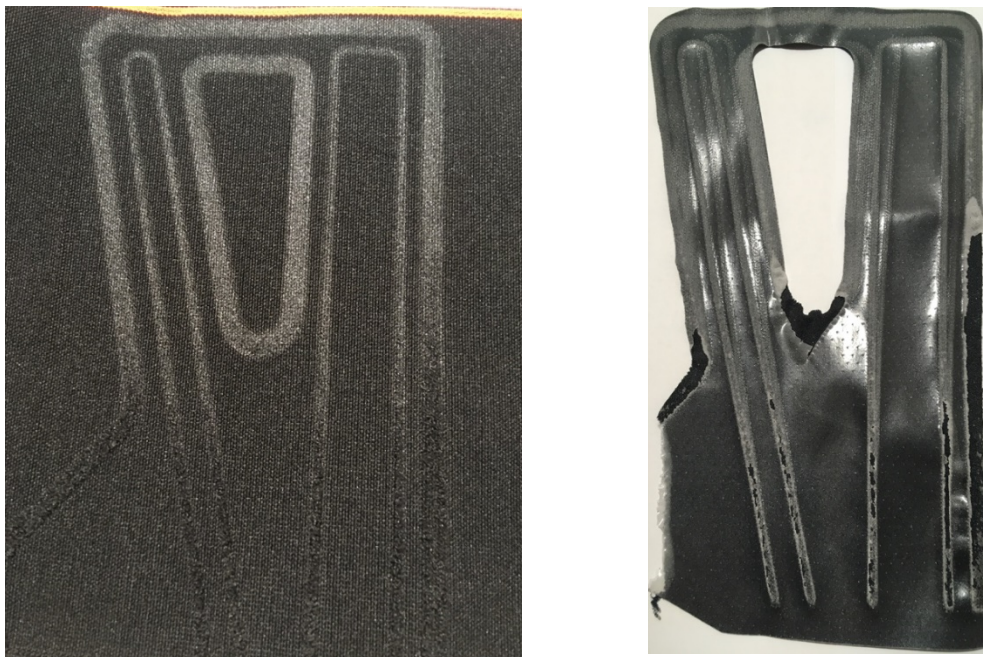


Obr. 25 Zahoření v místě svaru materiálu

Lícová strana základního materiálu od sebe oddělena rubovou stranou doplnkový materiál (viz Obrázek 27). Na základním materiálu jsou pouze lesklá místa vytlačená od elektrody. Znamená to, že nedošlo k žádnému spojení. Ve spodní části základního

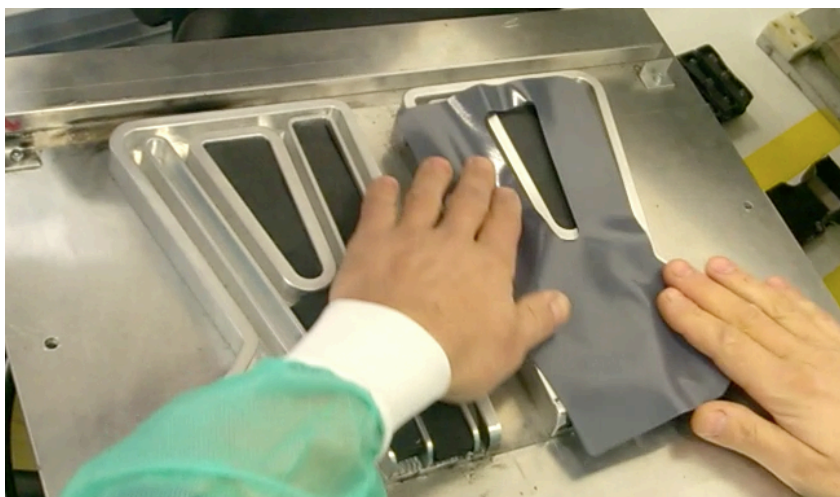
materiálu, kde vznikl slabý svar, je vidět nepatrné vytržení vláken. Zátěr u doplňkového materiálu je v některých místech vytržen.

Měřením jsme zjistili, že tloušťka svaru je 1,9 mm. Základní a doplňkový materiál mají dohromady tloušťku před svařováním 2,06 mm. Uvádí se, že tloušťka kvalitního svaru je o 40 % nižší vzhledem původní tloušťce svařovaných materiálů. Náš svar vykazuje pouze 27 %.



*Obr. 26 Pohled na svařovaná místa materiálů: svařovaná strana základního materiálu;
svařovaná strana doplňkového materiálu*

Tvarovaná elektroda nemá zarážky proti nežádoucímu posuvu materiálu. Doplňkový materiál může sjíždět mimo plochu určenou k svaru. Zarážka v horní části formy je vzdálena 2 cm od elektrody, tím neplní žádnou funkci zábrany proti posouvání. Pohyb doplňkového materiálu na ploše elektrody (viz Obrázek 28).



Obr. 27 Posuv doplňkového materiálu do stran

3.4 Problematická místa při svařování

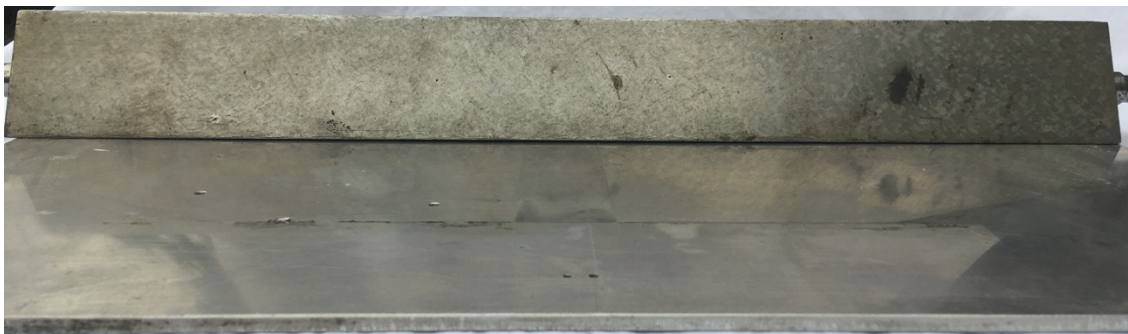
Tvarovaná elektroda je nejdůležitější článek svařování má na starost rovnoměrný ohřev. Podrobně bude popsána elektroda a rozbor v jakém stavu se nachází. Dalším kritériem kvalitního spoje je svařovaný materiál, který se mění v dielektrikum. Práce se zabývá tím, jak je důležité materiálové složení základního a doplňkového materiálu.

Elektroda a deska jsou vyrobeny z duralu. Ocel je měkká a po několika použití můžeme očekávat její deformaci.

3.4.1 Kontrola rovinnosti plochy desky

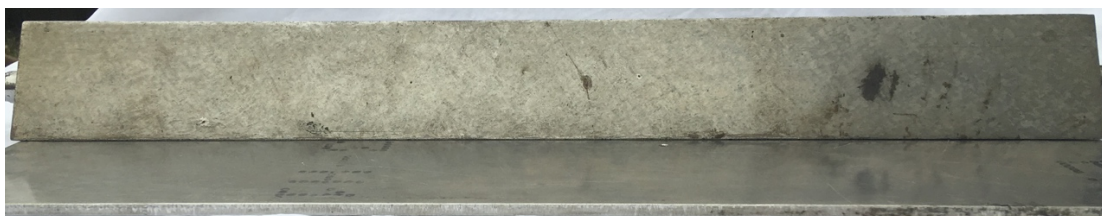
První co se začalo zkoumat, byla deska. Abychom mohli zjistit její rovinnost, musíme od ní odnýtovat tvarovanou elektrodu a lištu umístěnou na přední straně. Pro zkoušku použijeme pravítko rovnostranného trojúhelníku, určeného pro měření rovinnosti ploch. Prověřování začíná na horní straně, kde byla připevněna elektroda.

Deska se položila na rovný stůl a na ni pravítko, jehož konce směřují k levé a pravé straně desky. Středová část desky se prohýbá a naopak kraje jsou rovnoběžné s pravítkem (viz Obrázek 29). Pomocný komponent, na kterém je uložena elektroda, není rovný. Mezera mezi pravítkem a deskou jsou 3 mm. Znamená to, že elektroda není rovnoběžná s rovnou elektrodou svařovacího stroje.



Obr. 28 Měření rovinnosti horní strany desky

Spodní strana desky, dosedá na středovou část pravítka a kraje se naopak nedotýkají (viz Obrázek 30).



Obr. 29 Měření rovinnosti spodní strany desky

Zjistilo se, že deska není rovná, a proto je nevhodná k dalšímu použití.

3.4.2 Analýza problémových míst na elektrodě

Dalším krokem přezkoumání je elektroda. Pravá strana formy vykazuje známky probití elektrickým proudem. Ten zanechal dvě hluboké prohlubně a na dalších místech je povrch poškozen (viz Obrázek 31). Na elektrodě se neměřila rovinnost pravítkem, protože již pouhým pohledem vykazuje nevyrovnané plochy a je jisté, že po celé své ploše nebude v těsném kontaktu s vodorovnou plochou elektrody svařovacího stroje.



Obr. 30 Probití elektrody elektrickým proudem

Zaoblení hran elektrody je přiměřené k tloušťce materiálu, není to místo, které by bylo problematické a rozhodovalo o kvalitě svaru. Ostré hrany by zapříčinily zatlačení kraje svaru doplňkového materiálu do základního materiálu. To se ale nestalo, šířka svaru odpovídá šířce ploch elektrody. Při větším zaoblení hran by svar měl užší šířku, než je plocha elektrody. Pro nás je důležité, aby svar splynul s materiálem.

3.4.3 Svařovaný materiál

Hlavním kritériem VF svařování při hodnocení vhodného materiálu je ztrátový činitel $tg\delta$. Materiálové složení základního materiálu má pouze 38 % vláken s dobrými vlastnostmi pro dielektrický ohřev. Obsahuje 15 % polyamidu jeho ztrátový činitel je 0,03-0,05 $tg\delta$ a 23 % elastodienů, který má nejvyšší ztrátový činitel $tg\delta$ 0,12.

Zbytek materiálového složení základního materiálu je 62 % polyesteru, který je vhodný pro VF v případě vyhřívání elektrod. Náš svařovací stroj není uzpůsobený pro vyhřívání elektrod.

Doplňkový materiál je zátažná jednolící pletenina ze 100 % polyesteru. Aby splňovala podmínky vysokofrekvenčního svařování, má na rubové svařované straně zátěr z polyuretanu. Jeho ztrátový činitel 0,07 $tg\delta$ je vhodný pro VF.

Můžeme konstatovat, že v materiálovém složení není problém, který by zapříčinil nekvalitní spoj. Doplnkový materiál má dobré vlastnosti pro ohřev a v základním materiálu je alespoň 38 % vláken, která jsou také vhodná pro VF.

3.5 Odstranění vad na elektrodě

Elektroda nesplňuje kritéria pro rovnoměrný ohřev. Našli jsme na ní problémová místa a zaměříme se na to, abychom postupně odstranili její nedostatky.

3.5.1 Rovinnost desky

Poškození, které vykazuje deska je nevratné, a není žádný způsob, jak ji opravit. Základem kvalitního svaru desky, na které leží elektroda, je rovinnost desky na setiny, na níž leží elektroda.

Použijeme pro naši elektrodu novou desku z duralu s přesností 5 setin na 1 m².

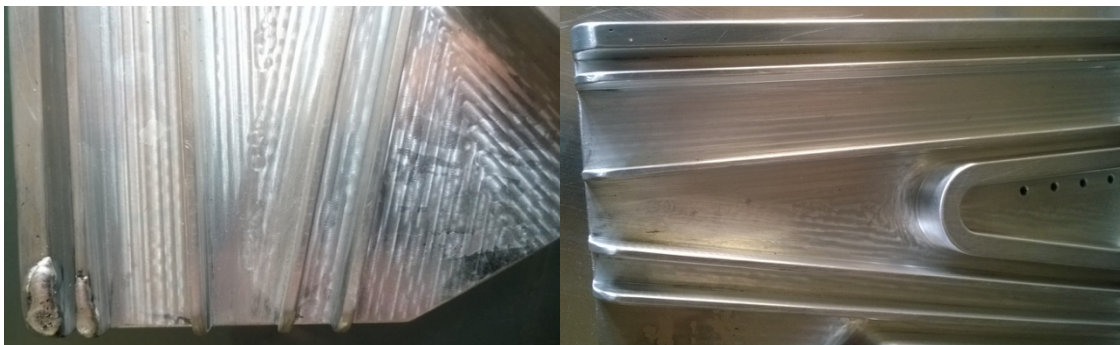
Pravítko rovnoměrně doléhá na desku (viz Obrázek 32). Na připravený podklad můžeme připevnit elektrodu.



Obr. 31 Měření rovinnosti pravítkem

3.5.2 Oprava průboje na elektrodě

Poškození pravého dílu elektrody průbojem se odstranilo. Do vypáleného místa se navařil stejný materiál, z kterého je vyrobena elektroda a následně se přebrousila. (viz Obrázek 33). Přebroušením se dotvaruje požadovaný tvar elektrody, a především dodržíme zaoblení hrany elektrody. Na závěr se přebrousí celý povrch elektrody. Musí se dodržet rovinnost plochy.



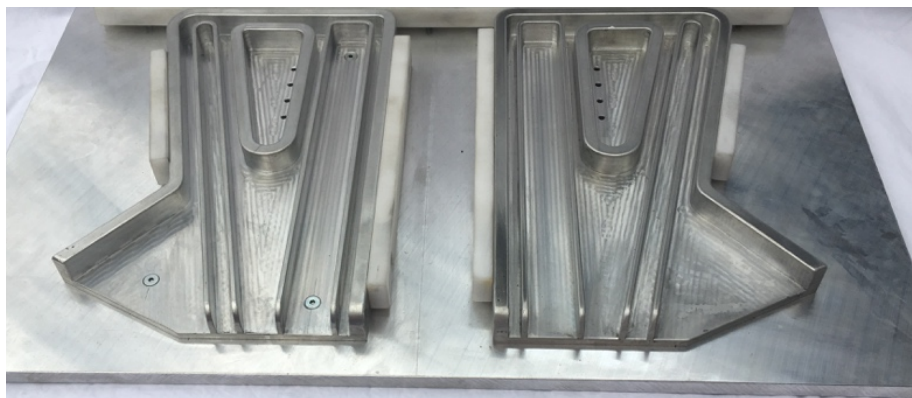
Obr. 32 Svařování a broušení elektrody: navařený dural v místě probíti; přebroušena plocha elektrody

3.5.3 Instalace pomocného komponentu na desku - zarážka

Abychom zamezili skluzu materiálu na ploše elektrody při pokládání, navrhli jsme řešení v podobě zarážek, které tomu budou zabraňovat. Komponent nesmí být vodivý a zároveň by měl být pevný, aby vydržel tlak horní elektrody, proto je vhodným materiálem silon.

K zamezení posuvu materiálu do stran na pravé a levé elektrodě slouží zarážky ve tvaru hranolu o délce 100 mm/ 20 mm a výšce 15 mm. Rozměry zarážek (hranolu) se odvíjí od výšky elektrody (viz Obrázek 34). Šíře elektrody není důležitá, nemá žádnou funkci a žádný proces není na ní závislý.

Důležitá je výška zarážky, má totožnou výšku jako elektroda. Nesmí být v žádném bodě vyšší než elektroda. Délka se přizpůsobuje bočním délkám elektrody a nemusí být přesná, je odhadem.



Obr. 33 Rozmístění zarážek

Zarážky jsou připevněny k elektrodě pomocí šroubů. Vyvrtané díry jsou oválného tvaru. Potřebujeme, aby se nám šroub mohl pohybovat shora dolů a zpět. Zarážka připevněna na boční straně elektrody (viz Obrázek 35).



Obr. 34 Zarážka elektrody

Na přední stranu elektrody jsme dali silonovou zarážku s výřezem pro správné uložení základního materiálu před samotným svařováním. Profil a pohled na přední stranu elektrody základního materiálu zapřeného do zarážky (viz Obrázek 36).



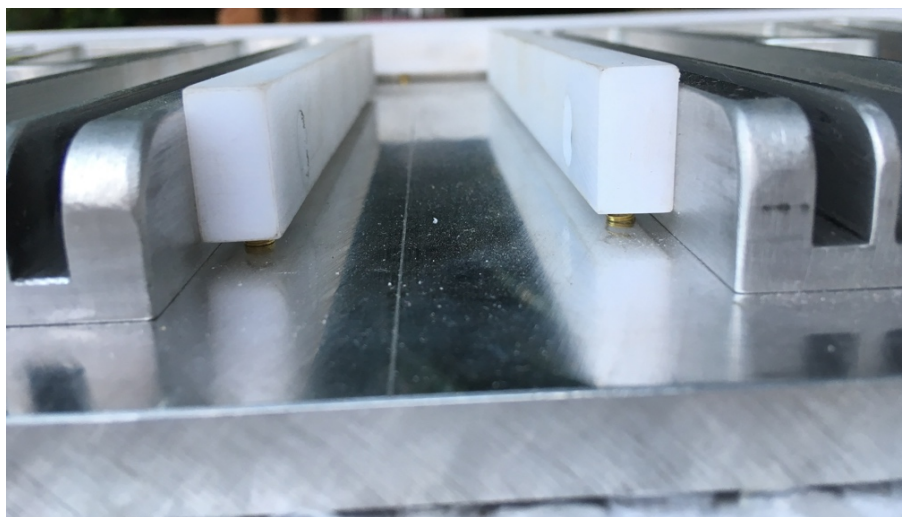
Obr. 35 Zarážka na přední straně elektrody: a) profil zarážky; b) pohled zhora na materiál zapřený do zarážky

Původní duralová lišta v přední části desky se využila k připevnění zarážky pomocí tří šroubů. Díry na oceli jsou oválného tvaru s větším otvorem, než je šroub (viz Obrázek 37). Umožní stejný pohyb jako u zarážek připevněných na elektrodě.



Obr. 36 Tvar otvoru pro šroub

Aby nám zajely zarážky pod úroveň horizontu elektrody, jsou ve spodní části silonu umístěny pružinky, (viz Obrázek 38). Jakmile začne působit tlak horní elektrody na tvarovanou elektrodu, silonový komponent se stáhne dolů pomocí pružinek. Zarážka nesmí bránit k rovnoměrnému přilehnutí ploch elektrod.



Obr. 37 Pružiny umístěné na zarážce.

Elektroda by měla být skladována v čistém prostředí, aby na ni nezachytávaly nečistoty. Před samotným svařováním se doporučuje formu očistit lihem nebo jiným podobným prostředkem. Spravená a upravená elektroda je čistá bez nečistot, které by mohli zapříčinit průboj při svařování. (viz Obrázek 39).

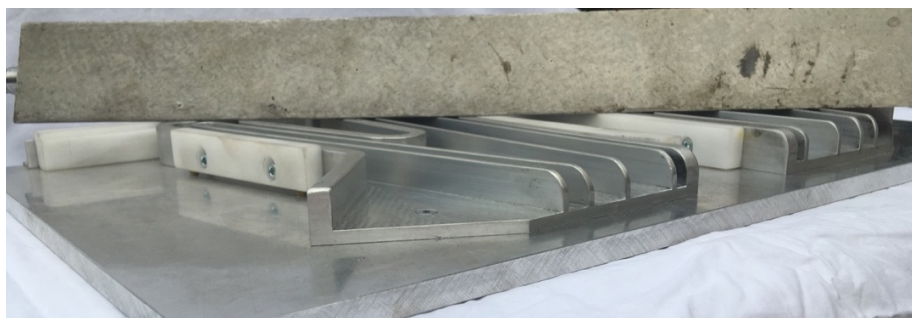


Obr. 38 Opravená elektroda

Abychom se ujistili, že naše oprava elektrody proběhla správně, provedli jsme měření rovinnosti pravítkem (viz Obrázek 40, 41).



Obr. 39 Měření rovinnosti v šířce elektrody



Obr. 40 Měření rovinnosti položením pravítka z levého do pravého rohu

Plocha elektrody rovnoměrně doléhá na pravítko. Zarážky pracují spolehlivě, ze spodní polohy se vrací plynule do horní. Pružiny se nezasekávají a nevybočují do stran. Plocha pravítka doléhající na zarážky v přední a pravé boční části elektrody (viz Obrázek 42).

3.6 Svařování materiálů po odstranění vad na elektrodě

3.6.1 Prověření rovinnosti ploch elektrody pomocí kopírovacího papíru

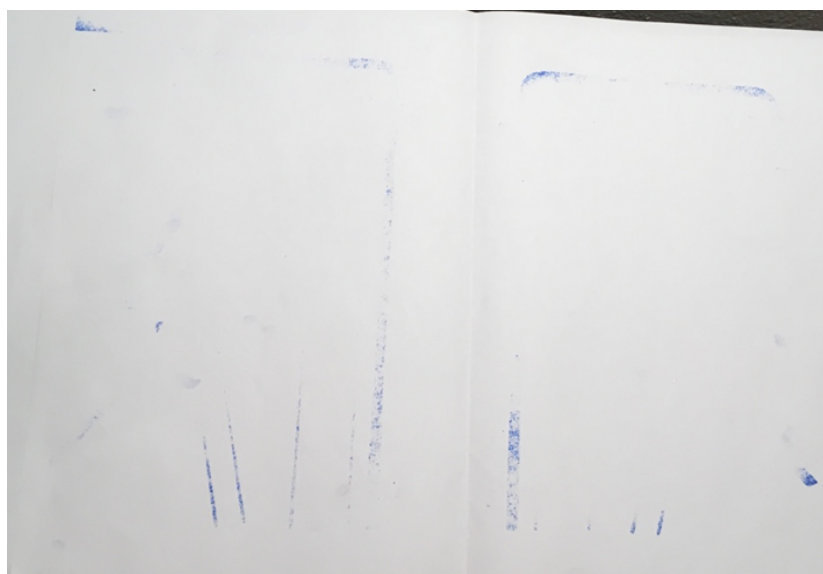
V úvodu před samotným svařováním na vysokofrekvenčním stroji se pro kontrolu prověří rovinnost elektrody pomocí bílého papíru a kopírovacího papíru.

Čistý bílý papír je v kontaktu s plochou elektrody a kopírovací papír s plochou bílého papíru. V dalším kroku spustíme dolů bez energie horní elektrodu svařovacího stroje za pomoci tlaku.



Obr. 41 Prověření rovinnosti plochy elektrody kopírovacím papírem

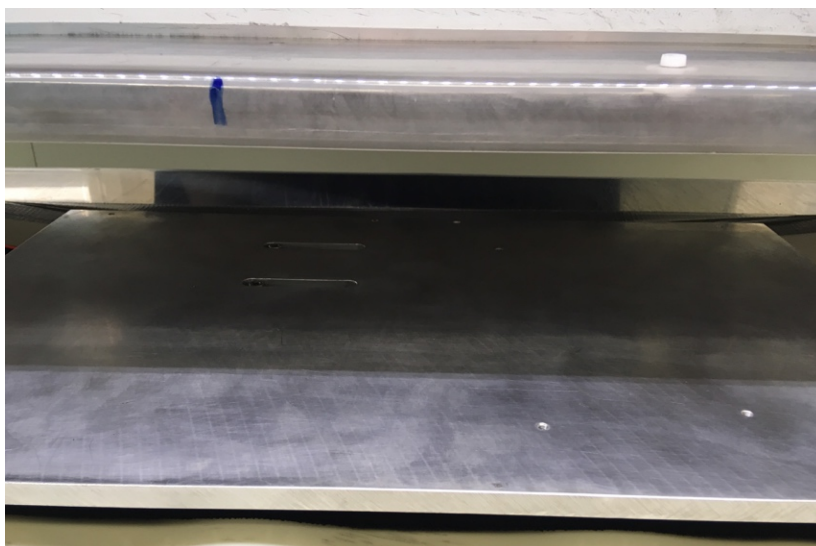
Na bílém papíře zůstaly pouze okopírované plochy krajů předních a zadních stran, které na sebe dosedly (viz Obrázek 43). Ve středové části se vzájemně plochy nedotkly. Předpokládáme, že se díly spojí v celé ploše. Pevnost v krajích svaru bude vyšší než středová část navařených dílů.



Obr. 42 Zkopírované plochy

3.6.2 První zkoušky svařování bederního pásu

Na stůl vysokofrekvenčního stroje se umístily materiály určené ke svařování a elektroda (viz Obrázek 44). Plocha elektrody je ve styku s doplňkovým materiálem stranou, kde je zátěr. Přední strana elektrody se zářádkou je položena směrem dovnitř elektrody.



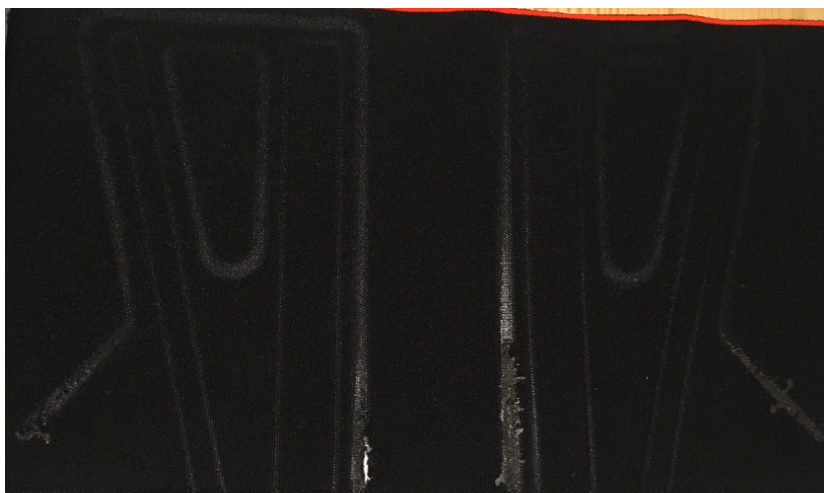
Obr. 43 Položení materiálů s elektrodou ve vysokofrekvenčním stroji

První parametry svařovacího stroje se nastavují dle uvážení a odhadu, který se vztahuje na tloušťku materiálu a velkou plochu elektrody. Zvolila se vysoká hodnota výkonu a dlouhý čas svařování. V tabulce 17 jsou nastavené parametry stroje pro první svařování.

Tabulka 17 Nastavené parametry

Parametr	Hodnota
Původní výkon [%]	10
Provozní výkon [A]	1,5
Prodleva [s]	2
Čas svařování [s]	8,0
Čas chlazení [s]	10
Hodnota výkonu [1-6]	5
Tlak [bar]	4,5

V průběhu prvního svařování došlo k průboji a k zahoření v místech, která byla při kontrolní zkoušce kopírovacím papírem nejvíce viditelná na bílém papíru. Elektroda zůstala nepoškozena. Základní materiál z rubové strany místo zahoření, kde proběhl průboj (viz Obrázek 45). Materiály jsou oba rozvařeny.



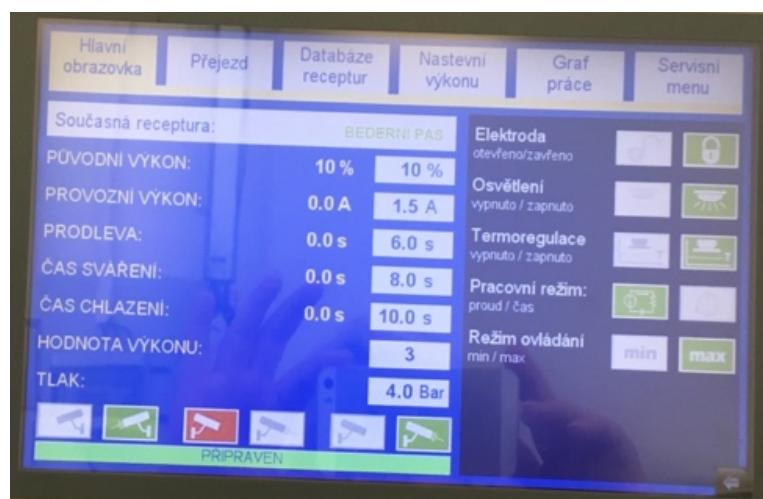
Obr. 44 Zahoření v místě svaru

Problém pravděpodobně způsobil parametr „prodleva“ na který jsme nastavili 2 s. Díky krátkému času prodlevy proběhl rychlý náběh proudu na 1,5 ampéru, při hodnotě výkonu 5, což je téměř nejvyšší rychlost.

3.6.3 Zkoušky svařování

Pro další svařování se zvolili nižší hodnoty parametrů a postupně se zvyšovali do doby, než se podařilo mít pevný spoj. Zkušební svařování, které vykazovalo nekvalitní spoj neuvádíme. Svary nebyly dostatečně pevné, materiály se daly od sebe lehce odtrhnout.

Po pár nezdařených zkouškách se podařilo nastavit parametry (viz Obrázek 46). Zvýšila se prodleva pro plynulý náběh a aby lampa nedostala velký náraz proudu.



Obr. 45 Nastavené parametry pro skupinu 1

Pro přehled mezi zkouškami se budou vytvářet skupiny se vzorky s kvalitním svarem. Provedli se další tři kontrolní zkoušky s konkrétně nastavenými parametry. Na rubové i lícové straně je pravidelně vyznačen svar. Materiály spolu plynule splývají.

Označíme si vzorky skupiny 1.

Změna nastavení parametrů svařovacího stroje

Z předchozího svařování skupiny 1 jsou pouze 3 vzorky. Proto se rozhodlo po delší době prověřit správnost nastavených hodnot na svařovacím stroji. Po svaření vzorku se zjistilo nepatrné zahoření v jednom místě svaru (viz obrázek 45). Svařování proběhlo bez průboje.

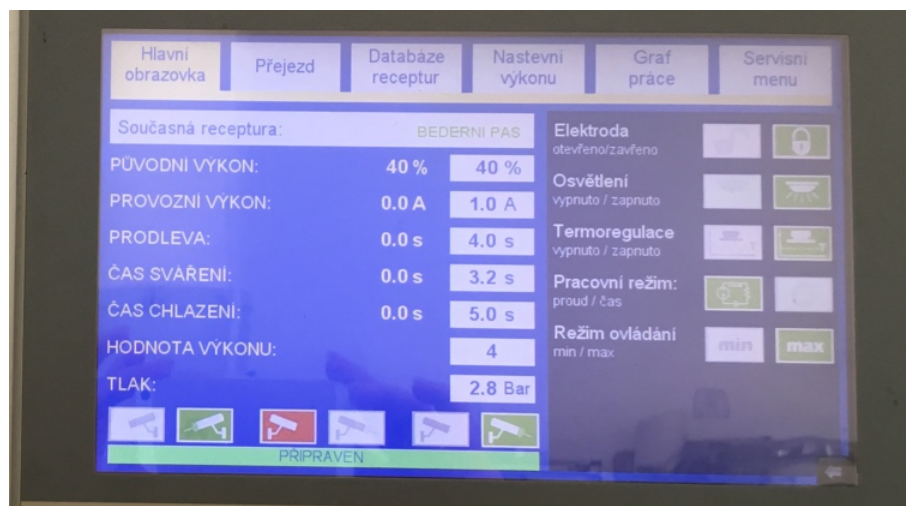


Obr. 46 Zahoření ve svaru

Nastavení nových parametrů svařovacího stroje

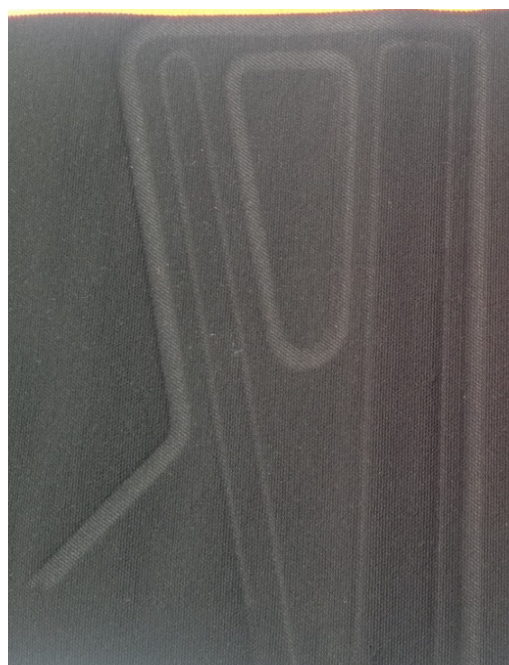
Předchozí nastavení parametrů se ukázalo nepřijatelné, proto začínáme zkoušet další vzorky. Navolili jsme si opět nejnižší parametry na displeji a postupně je měnili do doby, než se nám podařilo svařit první vzorek s pevným svarem. Neuvádíme parametry pro vzorky, kde nebyl kvalitní svar. Materiály se od sebe daly snadno oddělit.

Elektrodu se umístila na přední stranou do svařovacího stroje stejně jako u první zkoušky svařování. Nastavené hodnoty na displeji u vzorku s kvalitním svarem (viz Obrázek 48). Parametry jsou nižší než u skupiny 1.



Obr. 47 Optimální nastavené parametry

Zkouška proběhla bez probití a zažehnutí. Svar je pevný, vidíme, že tvar elektrody je pravidelný z lícové i z rubové strany. Kraje materiálů na lícové straně splývají. Rubová strana svaru je pravidelně vtlačena do základního materiálu (viz Obrázek 49). Vizualně můžeme zhodnotit, že je svar kvalitní.



Obr. 48 Detail rubové strany svaru

Prověřili jsme svařováním opět 3 vzorky a zařadili je do skupiny 2. Zjistili jsme, že jsou svary u zkoušek stejné, mají pevný svar a nemají žádné viditelné vady.

Zkouška svařování č. 3 umístěním elektrody jiným směrem

Zkusili jsme experiment a položili elektrodu do svařecího stroje zadní stranou směrem dovnitř (viz Obrázek 50).

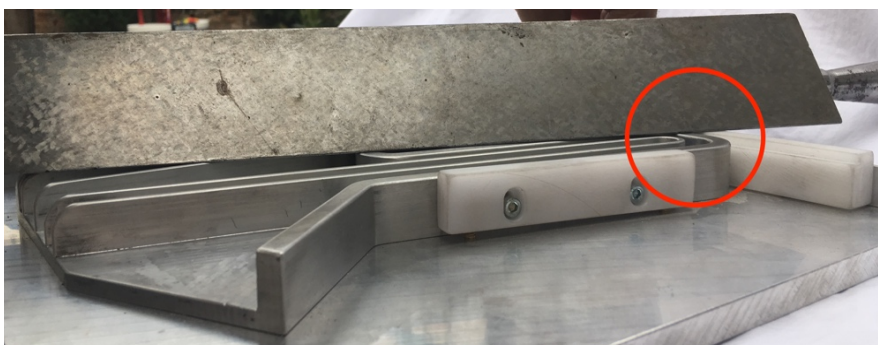


Obr. 49 Elektroda položena v opačném směru

Nastavené parametry jsme ponechali stejné jako u předchozí zkoušky. Provedli jsme zkoušku opět na třech vzorcích. Svar zůstal pevný, není možné od sebe oddělit materiály v místě spoje. Tvar elektrody je pravidelný a materiály splývají.

Kontrola zarážek

Po zkouše se provedla kontrola zarážek, jestli nevykazují opotřebení pružinky a jejich správný chod. U lišty umístěné v přední části elektrody jsme si všimli, že v jednom místě na pravé straně je nepatrně vyšší zarážka, než je hrana vrcholu elektrody. Pravítkem jsme prověřili rovinnost ploch společně se zarážkou umístěnou v přední části elektrody (viz Obrázek 51).



Obr. 50 Měření rovinnosti elektrody a zarážky

Zarážka umístěná na přední straně elektrody nemá přesné rozměry. Neprovedli jsme před její instalací kontrolu rozměrů, předpokládali jsme, že máme komponent rozměrově přesný.

Svary, u kterých jsme našli optimálně nastavené parametry, vykazují dobrou pevnost. Můžeme vyvodit závěr, že vyvýšená část zarážky nemá velký vliv na kvalitu svaru.

Pro srovnání hotových vzorků budeme experimentálně hodnotit jejich kvalitu, proto zkusíme provést svařování bez přední zarážky (viz Obrázek 52). Parametry ponecháme stejné z předchozí zkoušky. Elektrodu umístíme do svařovacího stroje přední částí směrem dovnitř stroje.



Obr. 51 Elektroda bez přední zarážky

Svařované svary u zkoušky č. 4 bez přední zarážky jsou pevné a vykazují stejnou kvalitu jako předešlé testované vzorky.

3.7 Experimentální zkouška pevnosti svaru

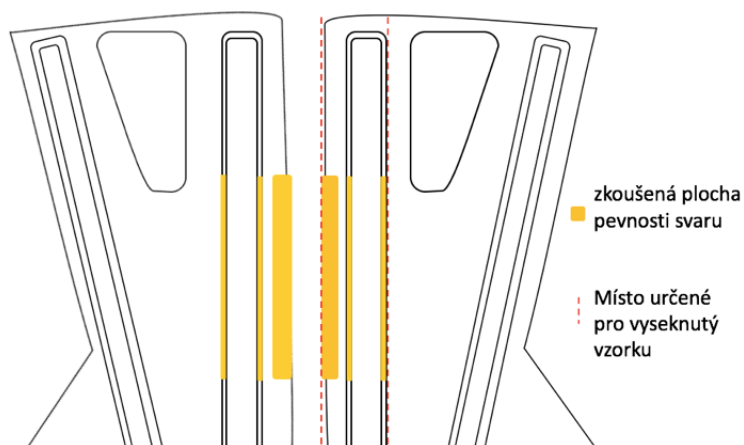
V dalším kroku byl zjišťován vliv uložení elektrody na pevnost svaru, která je pro výsledný výrobek velice důležitá. Elektroda byla na podkladový materiál uložena třemi způsoby, proto byly výsledky rozděleny do čtyř skupin. Abychom mohli porovnávat svar musíme provést zkoušku pevnosti v podélném směru. Pevnost svařovaného svaru se nepodřizuje normě a její výsledky nám slouží pouze pro porovnání svařovaných vzorků pevnosti svaru.

Pevnost svaru jsme zkoušeli na přístroji Zwick 1454 (viz Obrázek 53). Upínací délka měřeného vzorku byla 100 mm, šíře vzorku 50 mm, rychlost posuvu čelistí byla 100 mm/min, rozsah zatížení 0 – 5000 N.



Obr. 52 Zkouška pevnosti sváru

Vzorky se klimatizovaly v místnosti po dobu 24 h při 65 % RH a 20 °C. následně se vysekaly raznicí požadované rozměry pro zkoušku pevnosti svaru. Výrobek se skládá ze dvou navařených dílků, proto máme připravený levý **A**, pravý **B** vzorek ze středové části dílků (viz obrázek. 54). Pro jednotlivou skupinu se zkoušelo 6 vzorků.



Obr. 53 Vzorky připravené pro zkoušku

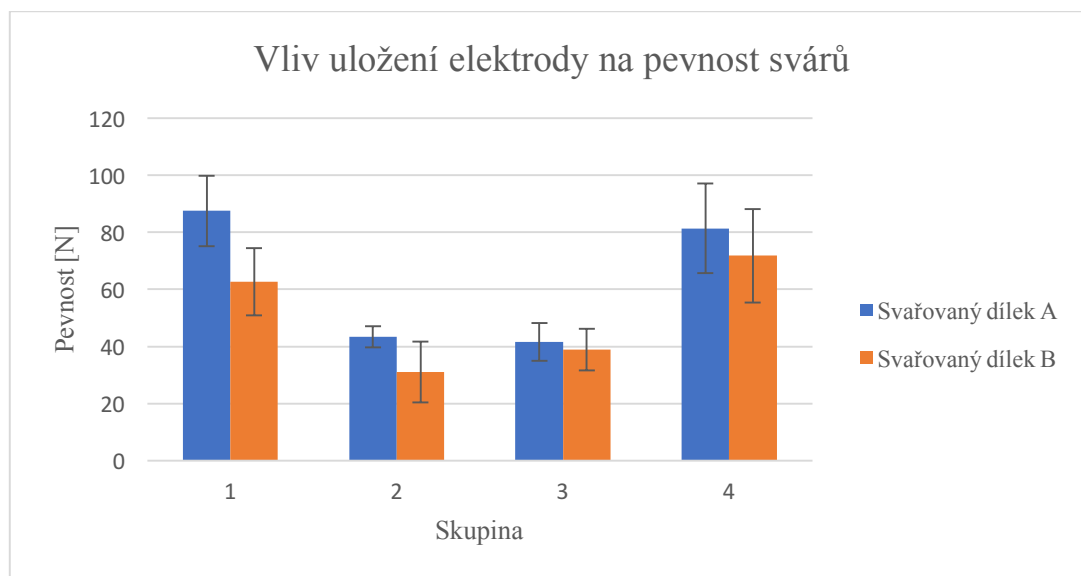
3.7.1 Výstupní hodnoty zkoušky pevnosti svaru

Z výstupních hodnot zkoušky pevnosti svaru byly vypočteny statistické údaje průměr, rozptyl, směrodatná odchylka, variační koeficient a interval spolehlivosti, které jsou v tabulce 18.

Tabulka 18 Výstupní hodnoty zkoušky pevnosti svar

Skupina	1		2		3		4	
Svařovaný dílek	A	B	A	B	A	B	A	B
Průměr [N]	87,59	62,66	43,44	30,99	41,56	38,89	81,44	71,87
Rozptyl [N]	119,67	108,74	10,73	87,73	33,58	40,95	193,24	210,78
Směrodatná odchylka [N]	10,94	10,43	3,28	9,37	5,79	6,40	13,90	14,52
Variační koeficient [%]	12,49	16,64	7,54	30,23	13,94	16,45	17,07	20,20
Interval spolehlivosti [N]	12,38	11,80	3,71	10,60	6,56	7,24	15,73	16,43

Z grafu (viz Obrázek 55) je patrné, že největší pevnosti dosahují vzorky ze skupin 1 a 4. Jejich pevnost se pohybuje okolo 75 N. Z výsledků plyne, že nejvhodnější uložení elektrody a nastavení parametrů je u skupiny 1 a 4. Strany jednotlivé elektrody vykazují velký rozdíl v pevnosti svaru. Největší rozmezí pevnosti je u skupiny 1. A má větší pevnost spoje než B. Ostatní skupiny nemají velké rozdíly v pevnosti mezi A a B.



Obr. 54 Vliv uložení elektrody na pevnost svárů

Porovnání výsledných hodnot

Svařované vzorky skupiny 1 nám vykazují nejvyšší pevnost. Uložení elektrody je totožné se skupinou 4. Přední strana byla směřování do vnitř svařovacího stroje. Skupina 1 se svařovala se zarážkou na přední straně elektrody. Parametry nastavené na svařovacím stroji byly nejvyšší ze 4 skupin. Pro další svařování nemůžeme používat nastavené parametry, při opětovném svařování došlo k zahoření na jednom místě. Parametry by se dali použít v případě, kdyby měl svařovací stroj vyhřívané elektrody. Z výsledků plyne, že pevnost svaru A je větší než svar B.

Svařované vzorky skupiny 2 mají nejnižší pevnost svaru. Příčinou problému je vyvýšené místo na hraně zarážky v přední části elektrody. Pevnost spoje se snížila se snížením parametrů svařovacího stroje. Z výsledků plyne, že pevnost svaru A je větší než svar B. Je to největší rozdíl pevnosti stran jednotlivých elektrod.

Na svařované vzorky skupiny 3 nemělo velký vliv uložení elektrody zadní stranou dovnitř svařovacího stroje. Pevnost svaru se nezlepšila má třetí nejnižší pevnost ve skupinách. Metoda položení elektrody jiným směrem pomohla k nepatrnému nárůstu pevnosti svaru. Strany A a B mají rozdíl pevnosti nejnižší.

Svařované vzorky skupiny 4 mají druhou nejvyšší pevnost svaru. Skupina se svařovala bez přední zarážky na elektrodě. Rozdíl pevnosti svaru mezi A a B je zanedbatelný. Z výsledku je patrné, že svar má nejlepší pevnost.

4 Diskuze výsledků

Stanoveným cílem bakalářské práce bylo zajistit pevný svar u bederního pásu. Zhodnocení dosažených výsledků je rozděleno do dvou oblastí, to je nastavení parametrů svařovacího stroje a testování pevnosti.

Nastavení parametrů vysokofrekvenčního stroje

Samotnému svařování a nastavení parametrů na vysokofrekvenčním stroji předchází příprava elektrody, která zaručuje rovnoměrný ohřev v materiálu. Elektroda určená ke svařování bederního pásu vykazovala známky poškození na povrchu. Dalším zkoumáním se přišlo na nerovnost plochy desky, na které je připevněna elektroda. Elektroda byla připevněna na desku s přesností 5 setin na 1 m². Následně byly poškozené plochy na elektrodě vyvařeny a celá elektroda přebroušena.

Po odstranění vad na elektrodě se přešlo ke svařování. Při první zkoušce se nezvolily správné parametry. Nastavil se nízký původní výkon a vysoká hodnota výkonu. Z 10 % původního výkonu proběhl rychlý náběh proudu na 1,5 A za krátký čas 2 s (prodleva) téměř v nejvyšší rychlosti 5 (hodnota výkonu). Došlo k průboji a k zažehnutí bez poškození elektrody. Materiály byly rozvařeny. Při novém nastavení parametrů u nových výrobků je vhodné začít s nižšími hodnotami a postupně je zvyšovat, než se podaří najít optimální hodnoty pro pevný svar. Může se také stát, že průboj, který nastane poškodí plochu elektrody a pak musí následovat její oprava.

Při další zkoušce se parametry nastavily s větší prodlevou a nižším výkonem. Náběh proudu na 1,5 A proběhl plynule z 10 % (**původní výkon**) díky vyšší **prodlevě 6 s.** a **hodnota výkonu** se snížila na 3. Svar je pevný materiály se nedají od sebe snadno oddělit. Vlákna v místě svaru na základním materiálu se při odtrhávání se trhají a některá zůstávají na zátěru doplňkového materiálu (viz Obrázek 56). Povrch zátěru je také poškozen, v některých místech zůstává na povrchu základního materiálu.



Obr. 55 Pevný svar

Hodnoty, které se podařilo nastavit se použili při opětovné kontrolní zkoušce po delším čase. Výsledkem testování je zahoření bez průboje v jednom místě.

Jestliže se podaří nastavit parametry, se kterými se svaří kvalitní svar, je na místě zkoušet více vzorků při jednom svařování z důvodu zahřátí elektrody při svařování. Postupně se v elektrodě nahromadilo teplo, elektroda se rychle zahřála prouděním velké energie v krátkém čase a nestačila vychladnout na přiměřenou teplotu při provozu. Stalo se to vysokým náběhem proudu velkou energií proudící do elektrody. Nastavené parametry nelze použít pro svařování pásu.

Při novém nastavení parametrů stroje pro další testování se začalo s nízkými hodnotami s postupným zvyšováním. Důležité bylo prodloužit prodlevu 4 s, aby z původního výkonu 40 % proběhl plynulý náběh na provozní výkon, který se snížil na 1 A. Energie proudící do lampy není vysoká a díky původnímu výkonu má přiměřený čas na to, aby nedošlo k silnému náraz proudu. Rychlost proudu je zvýšena na 4 (hodnota výkonu). Při zvýšení rychlosti hodnoty výkonu se musela přizpůsobit **doba svařování na 3,2 s**. Doba chlazení se odvíjí od doby svařování. Výrobci v praxi nastavují dobu chlazení zhruba o 2 s delší, než je doba svařování. Při svařování bederního pásu se využila tato metoda a parametr **pro čas chlazení je 5 s**.

Svar svařovaný uvedenými parametry je pevný. Základní materiál s doplňkovým se spojily v místě svaru a nejdou snadno od sebe oddělit (viz Obrázek 57). Materiály spolu splývají na lícové straně.



Obr. 56 Optimální nastavené parametry svařovacího stroje

Aby se zamezilo případnému zažehnutí jako v předešlém nastavení parametrů, testovalo se víc vzorků s novými nastavenými hodnotami. Pouze se měnilo umístění elektrody ve svařovacím stroji.

Svařování probíhalo bez zažehnutí a probití elektrickým proudem. Nastavené parametry jsou dobře nastaveny pro svařování bederního pásu. Díky nízkému proudění energie a krátkému času svařování se nehromadí teplo v elektrodě. Při testovacím provozu se průběžně zkouší pevnost svaru jednoduchým způsobem, a to ručně, odtrhnutím materiálů od sebe. Další pomůcka pro ověření pevnosti spoje je projít kolem kraje svaru tupým nástrojem (viz Obrázek 58). Do nespojeného svaru nástroj vjede.



Obr. 57 Prověření pevnosti svaru

Testování pevnosti

Svařované vzorky skupiny 1 nám vykazují nejvyšší pevnost. Uložení elektrody je totožné se skupinou 4. Přední strana byla směřována dovnitř svařovacího stroje. Skupina 1 se svařovala se zářezkou na přední straně elektrody. Parametry nastavené na svařovacím stroji byly nejvyšší ze 4 skupin. Pro další svařování nemůžeme používat nastavené parametry, při opětovném svařování došlo k zahoření na jednom místě. Parametry by se dali použít v případě, kdyby měl svařovací stroj vyhřívané elektrody. Z grafu (viz Obrázek 55) plyne, že výsledky jsou statisticky významné a pevnost svaru A je větší než svar B.

Svařované vzorky skupiny 1 vykazují nejvyšší pevnost okolo 75 N. Vzorky byly svařovány s nejvyššími nastavenými parametry. Při dalším zkoušení došlo k zažehnutí u vzorky, který se netestoval. Nastavené hodnoty se musely změnit.

Důležité jsou vzorky ze skupin 2, 3, 4. Nastavené parametry jsou vhodné pro svařování výrobku. Nejnižší pevnost vykazují skupiny 2 a 3. Z výsledků plyne, že pevnost svaru je kolem 40 N. Poslední skupina 4 má pevnost svaru rovněž kolem 75 N. To ukazuje velký rozdíl mezi naměřenými hodnotami vzorků.

Z toho plyne, že vzorky svařované stejnými parametry se zářezkou mají nejnižší pevnost svaru. Po odstranění zářezky se zvýšila pevnost u skupiny 4, ale zůstal velký rozdíl v pevnosti mezi stranami A a B kdy B vykazuje nižší pevnost.

Testování pevnosti svaru ukázalo rozdílné pevnosti svaru, které se neočekávaly.

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zajistit dobrou pevnost svaru při vysokofrekvenčním svařování bederního pásu. Teoretická část objasnila technologie nekonvenčního svařování a seznámila se způsoby, kterými se dá spojovat termoplastický materiál.

Experimentální část byla zaměřena na nastavení parametrů při svařování bederního pásu na stroji. Prvním úkolem bylo odstranění vad, které zapříčinily nekvalitní svar. Následovaly zkoušky svařování vzorků. Podařilo se nastavit vhodné parametry pro daný výrobek. Vzorky mají pevný svar. Základní materiál s doplňkovým splývají vzájemně splývají, hrany svaru jsou hladké a tvar elektrody je na rubové straně pravidelně vytlačen.

Při svařování se přišlo na problém v zarážce, která má v jednom místě vyšší plochu, než je plocha elektrody. Byl učiněn závěr, že se může svařovat i se zarážkou. Svar byl dostatečně pevný, materiály nešli od sebe nešly odtrhnout. Rozdílná pevnost byla vykázána u zkoušky pevnosti svaru, kdy vzorky svařované bez zarážky měly vyšší pevnost svaru než vzorky svařované se zarážkou. I když je svar pevný je vhodné opravit zarážku pro hladký chod svařování, neboť elektroda se opotřebovává a zarážka může způsobovat v budoucnu problémy.

Doporučuje se svařovat s parametry, které se podařilo nastavit na stroji pro vysokofrekvenční svařování, přičemž je nutné pravidelně kontrolovat plochu a rovinnost elektrody.

Citovaná literatura

1. ZELOVÁ, K. *Spojovací proces-Spojování textilií pomocí horkého klínu, vzduchu* [online]. [cit. 2018-02-16]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=2725>.
2. *PFAFF Industrial* [online]. [cit. 2018-02-03]. Dostupné z: <https://www.pfaff-industrial.com/en/portfolio/welding-machines/ultrasonic-sealing-machines/pfaff-8301>.
3. *Ardmel Group: Tape Sealing* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: http://ardmel-group.co.uk/product_type/tape-sealing-machines/.
4. *FRAMISITALIA: Machine-Joining* [online]. [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <http://www.framis.it/machines/joining>.
5. *VETRON-TYPICAL: Application-Center-VETRON* [online]. [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.framis.it/machines/joining>.
6. ZELOVÁ, K. *Spojovací proces - Spojeování textilií pomocí ultrazvuku* [online]. [cit. 2018-10-02]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=2724>.
7. *DUKANE: Textila Folie* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <http://www.dukane.eu/cz/svarování-a-krajení/textiln%C3%AD-průmysl>.
8. STIVÍN, J. *Vysokofrekvenční ohřev v průmyslu Díl II.: Dielektrický ohřev*. Praha: SNTL, 1955.
9. ZELOVÁ, K. *Spojovací proces-Spojování textilií pomocí vysoké frekvence-vysokofrekvenční svařování* [online]. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/course/view.php?id=2724>.
10. *ZEMAT: High Frequency Welding* [online]. [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <http://www.zemat.com/en/information/technology/high-frequency-welding>.
11. *HANDBOOK: High frequency welding. Part II* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.balacchihf.it/wp-content/uploads/2014/12/HIGH-FREQUENCY-WELDING-HANDBOOK-I-part.pdf>
12. ING. HRBÁČOVÁ. *Technologie vysokofrekvenční svařování*. 07. 02 2018.
13. *SVITAP: Textilní Architektura* [online]. [cit. 2018-11-27]. Dostupné z: <https://www.svitap.cz/textilni-architektura>.
14. MOTEJL, V. *Technologie II Část 3.*, . Liberec : Vysoká škola strojní a textilní, 1980.
15. *HANDBOOK: High frequency welding. Part I* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.balacchihf.it/wp-content/uploads/2014/12/HIGH-FREQUENCY-WELDING-HANDBOOK-I-part.pdf>.
16. *STUDIE LJUBLAŇ: Weild quality evaluation in radio-frequency PVC-Welding process* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: [http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_41\(2011\)4p290.pdf](http://www.midem-drustvo.si/Journal%20papers/MIDEM_41(2011)4p290.pdf)
17. KUBÍK, J. *PVC-výroba, zpracování a použití.*, Praha: Státní nakladatelství technické literatury, n.p., 1965.
18. *KATALOG. Hochfrequenz-schweizen*. Erstellt von Marco Kirsch. 22. 02 2018

Seznam obrázků

Obr. 1 Svařování horkým klínem [2].....	11
Obr. 2 Svařovací stroje PFAFF 8320 a 8321[2]	12
Obr. 3 Svařování horkým vzduchem [3]	13
Obr. 4 Spojovací stroj NOSO MX 212; detail spojovacího stroje[4]	14
Obr. 5 Ultrazvukové svařovací stroje: a) VETRON 5064; b) Ardmel H 192	20
Obr. 6 Tvary sonotrod: a) Sonotroda ve tvaru hrotu; b) Kotoučová sonotroda– ozdobný spoj s ořezem přebytečného materiálu	21
Obr. 7 Kotoučové sonotrody od firmy PFAFF [2]	21
Obr. 8 Polarizovaný materiál.....	23
Obr. 9 Vysokofrekvenční svařovací stroj [10]	24
Obr. 10 Využití textilní architektury k zastřešení budovy[13]	26
Obr. 11 Laminovaný materiál	30
Obr. 12 Spodní mosazná elektroda vyrobená z pásového materiálu	32
Obr. 13 Plocha elektrody s mezikružím	34
Obr. 14 Profil elektrody a tvar svaru (1 - výška svařovací plochy; 2 – výška řezací;	35
Obr. 15 Vložení izolační vrstvy (1. horní rovná elektroda; 2. izolační vrstva; 3. svařovaný materiál; 4. spodní tvarovaná elektroda).....	36
Obr. 16 Lícová strana bederního pásu.....	37
Obr. 17 Rubová strana bederního pásu.....	37
Obr. 18 Pomůcky pro stanovení plošné hmotnosti: a) vysekávací forma; b) ruční vysekávací stroj; c) váha	39
Obr. 19 Vysokofrekvenční stroj	41
Obr. 20 Displej svařovaného stroje	42
Obr. 21 Původní elektroda	43
Obr. 22 Detail ploch elektrody	44
Obr. 23 Pravidelné umístění materiálů na elektrodě: a) doplňkový materiál; b) základní materiál.....	44
Obr. 24 Nekvalitní svar	45
Obr. 25 Zahoření v místě svaru materiálu	45
Obr. 26 Pohled na svařovaná místa materiálů: svařovaná strana základního materiálu; svařovaná strana doplňkového materiálu	46
Obr. 27 Posuv doplňkového materiálu do stran	47
Obr. 28 Měření rovinnosti horní strany desky.....	48
Obr. 29 Měření rovinnosti spodní strany desky	48
Obr. 30 Probití elektrody elektrickým proudem.....	49
Obr. 31 Měření rovinnosti pravítkem.....	50
Obr. 32 Svařování a broušení elektrody: a) navařený dural v místě probití;	51
Obr. 33 Rozmístění zárážek	51
Obr. 34 Zárážka elektrody.....	52
Obr. 35 Zárážka na přední straně elektrody: a) profil zárážky; b) pohled zhora na materiál zapřený do zárážky.....	52
Obr. 36 Tvar otvoru pro šroub.....	52
Obr. 37 Pružiny umístěné na zárážce.	53
Obr. 38 Opravená elektroda	53
Obr. 39 Měření rovinnosti v šířce elektrody.....	54

Obr. 40 Měření rovinnosti položením pravítka z levého do pravého rohu	54
Obr. 41 Prověření rovinnosti plochy elektrody kopírovacím papírem	55
Obr. 42 Zkopírované plochy	55
Obr. 43 Položení materiálů s elektrodou ve vysokofrekvenčním stroji.....	56
Obr. 44 Zahoření v místě svaru	57
Obr. 45 Nastavené parametry pro skupinu 1	57
Obr. 46 Zahoření ve svaru.....	58
Obr. 47 Optimální nastavené parametry.....	59
Obr. 48 Detail rubové strany svaru	59
Obr. 49 Elektroda položena v opačném směru.....	60
Obr. 50 Měření rovinnosti elektrody a zarážky	60
Obr. 51 Elektroda bez přední zarážky	61
Obr. 52 Zkouška pevnosti sváru.....	62
Obr. 53 Vzorky připravené pro zkoušku	62
Obr. 54 Vliv uložení elektrody na pevnost svárů	63
Obr. 55 Pevný svar.....	66
Obr. 56 Optimální nastavené parametry svařovacího stroje.....	67
Obr. 57 Prověření pevnosti svaru	67

Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry svařovacích strojů The Transformer [2].....	12
Tabulka 2 Spojení dvou materiálů páskou [4].....	14
Tabulka 3 Základní přehled aplikací pásky [4]	15
Tabulka 4 Svařovací stroje s funkcí horkého vzduchu [4,5]	15
Tabulka 5 Pásky s lepidlem [6]	16
Tabulka 6 Pružné pásky [6].....	17
Tabulka 7 Pásky pro materiály lehký, střední až těžký švy jsou prodyšné a vodotěsné [6].....	17
Tabulka 8 Druhy kontinuálního svařování [7]	19
Tabulka 9 Výkon pro určitou plochu [9].....	25
Tabulka 10 Ztrátový činitel u vybraných materiálů [13].....	27
Tabulka 11 Parametry vysokofrekvenčního svařování.....	28
Tabulka 12 Profily elektrod a šíře svaru [12].....	33
Tabulka 13 Materiálový list - základní materiál.....	38
Tabulka 14 Materiálový list - doplňkový materiál	38
Tabulka 15 Drobná příprava.....	39
Tabulka 18 Výstupní hodnoty zkoušky pevnosti svaru	63

Seznam příloh

1. Bederní pás
2. Svařované vzorky